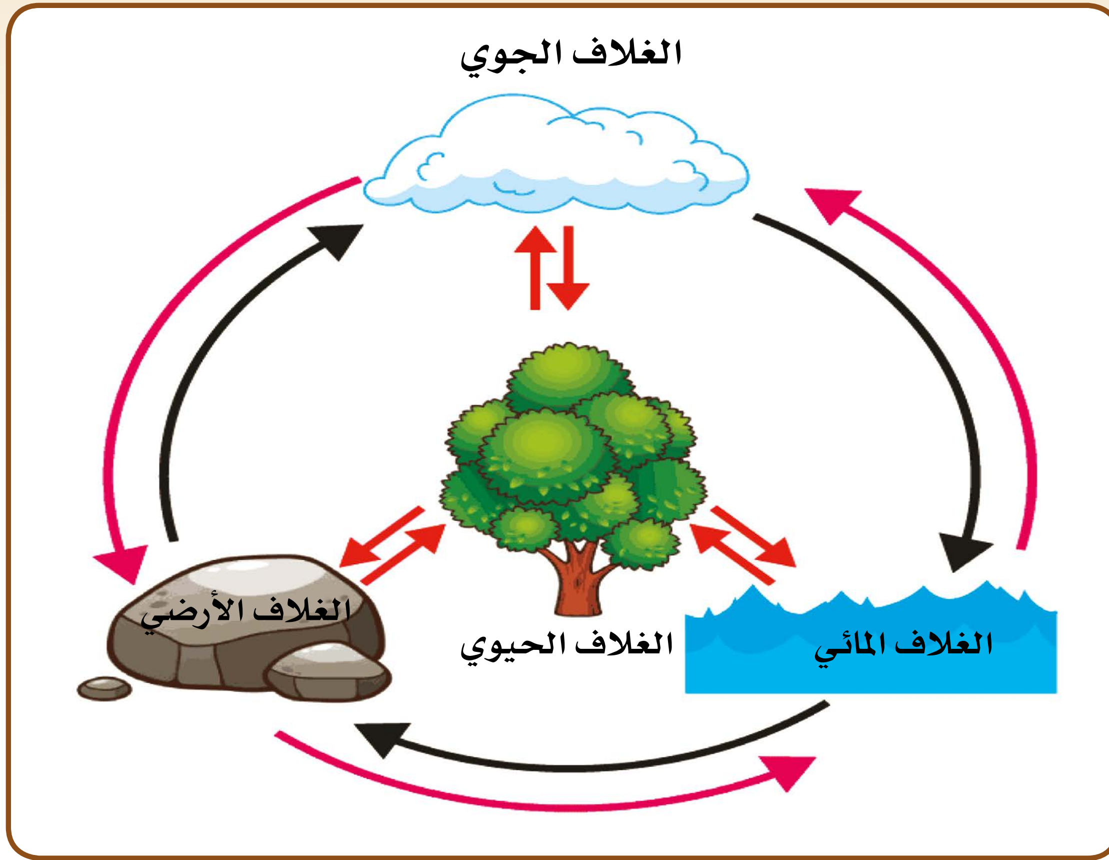
المجلة العربية للعلوم الجيولوجية
Arabian Journal of Geosciences
جامعة الملك سعود
King Saud University
Saudi Society for Geosciences

موسوعة العمري في علوم الأرض 12 Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences

الأغلفة المحيطة بالأرض



عبد الله بن محمد العمري
قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

١٤٤٤هـ - ٢٠٢٣م



www.alamrigeo.com



فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

العمري ، عبدالله بن محمد سعيد

كتاب الأغلفة المحيطة بالأرض. / عبدالله بن محمد سعيد العمري - ط١..- الرياض، ١٤٤٣هـ

١١٦ ص ، ٢١,٥ X ٢٨

ردمك: ٧-١٠١٨-٠٤-٦٠٣-٩٧٨

١ - الجيوفيزياء ٢ - الجيولوجيا ٣ - الأرض أ. العنوان ب. الموسوعة

ديوي ٥٥١ ٨٩٥٢ / ١٤٤٣

رقم الإيداع ٨٩٥٢ / ١٤٤٣

ردمك: ٧-١٠١٨-٠٤-٦٠٣-٩٧٨





تطلب النسخة الورقية المجانية من المؤلف على العنوان التالي:

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود ص.ب 2455 الرياض 11451

الإصدار الإلكتروني من خلال الموقع

www.alamrigeo.com

للاستفسارات والملاحظات الاتصال على:

جوال +966505481215 هاتف +966 11 4676198

البريد الإلكتروني E.mail : alamri.geo@gmail.com

الطبعة الأولى

١٤٤٤هـ / ٢٠٢٣م

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَفِي ٱلْأَرْضِ ءَايَٰتٌ لِّلْمُوقِنِينَ ﴾

[سورة الذاريات : آية 20]

﴿And on the Earth are Signs for Those Whose Faith is Certain﴾




موسوعة العمري في علوم الأرض

تمهيد

الحمد والشكر لله الذي ساعدني في إنجاز هذا الجهد المتواضع المرتبط بتأليف الموسوعة العلمية العربية. تهدف الموسوعة العلمية الشاملة في علوم الأرض والبيئة والطاقة إلى تزويد وخدمة الباحثين وطلاب المدارس والجامعات وفئات المجتمع نظراً لمعاناة المهتمين من مشاكل ندرة المراجع العربية في هذا المجال. تشتمل الموسوعة المجانية والتي تعتبر الأضخم عالمياً على 30 كتاب علمي ثقافي موثق ومدعم بالصور والأشكال التوضيحية المبسطة في 6000 صفحة تقريباً تغطي **خمسة أجزاء** رئيسية:

الجــــزء الأول مكون من ستة كتب يناقش عمر الأرض وشكلها وحركاتها وتركيبها الداخلي وثرواتها المعدنية والتعدينية والجاذبية الأرضية وعلاقتها بالمد والجزر:

- تقدير عمر الأرض
- التركيب الداخلي للأرض
- شكل الأرض وحركاتها
- المعادن والتعدين
- الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها
- المد والجزر

الجـزء الثانـي من الموسوعة يشتمل على ستة كتب تربط علاقة الأرض بالنظام الشمسي وبالأخص القمر والأغلفة الجوية والمائية والحيوية المحيطة بالأرض. وكذلك دور الزلازل والتفجيرات والبراكين والتسونامي في التأثير على بنية الأرض وكيفية تقليل مخاطرها:

- موجات التسونامي
- البراكين وسبل مجابهتها
- الزلازل والتفجيرات
- جيولوجية القمر
- تقييم مخاطر الزلازل
- الأغلفة المحيطة بالأرض



الجزء الثالث يتألف من ستة كتب يربط كل ما يتعلق بالمشاكل والكوارث البيئية والطبيعية وحلولها والتغيرات المناخية وأهمية التشجير ومعالجة الاحتباس الحراري:

- المشاكل البيئية وحلولها
- الانزلاقات والإنهيارات والفيضانات
- التغيرات المناخية والاحتباس الحراري
- الأمطار والسيول والسدود
- التشجير: التحديات والحلول
- التصحر والجفاف

الجـزء الرابـع يتكون من ستة كتب يناقش ارتباط علوم الأرض بالعلوم الأخرى نووياً وطبياً، وكذلك دور الطاقة المستدامة النظيفة اقتصادياً وبيئياً:

- مستقبل الطاقة في عالمنا
- الجيوفزياء النووية
- الطاقة الحرارية الأرضية
- الجيولوجيا الطبية
- هل إنتهى عصر النفط؟
- دليل كتابة الرسائل الجامعية والنشر العلمي

أما **الجـزء الخامـس** يتألف من ستة كتب متخصصة في العلوم الجيولوجية مكونة من 2020 سؤال وجواب لمساعدة طلاب الجامعات والباحثين وتهيئتهم للاختبارات الشاملة والتأهيلية للدراسات العليا ومزاولة المهنة:

Q&A	321 سؤال وجواب في تطور الأرض
Q&A	358 سؤال وجواب في علم الصخور والجيوكيمياء والاستشعار عن بُعد والـ GIS
Q&A	358 سؤال وجواب في الثروات الطبيعية
Q&A	380 سؤال وجواب في المخاطر الجيولوجية
Q&A	303 سؤال وجواب في علم الزلازل والزلزالية الهندسية
Q&A	300 سؤال وجواب في الجيوفيزياء التطبيقية

المؤلـــــــف

مقدمة

تتكون الأرض من عدة خصائص وتركيبات فريدة تؤثر جميعها في عمليات الأرض بشكل مختلف. يبحث علم أنظمة الأرض في كيفية تفاعل هذه الأنظمة، وكيف تتأثر بالأنشطة البشرية. تعتمد الأنظمة الأرضية الأربعة على بعضها البعض، وقد تم استخدامها لجعل دراسة المكونات البيولوجية والفيزيائية للأرض سهلة الفهم. وهي تسمى علميّاً العناصر الفيزيائية الحيوية وهي الغلاف المائي («المائي» للمياه)، والمحيط الحيوي («الحيوية» للكائنات الحية)، والغلاف الصخري («Litho» للأرض)، والغلاف الجوي («Atmo» للهواء). وتنقسم هذه المجالات كذلك إلى مجالات فرعية مختلفة.

المجالات الأربعة لنظام الأرض مترابطة بشكل كبير مما يتسبب في تفاعلات بين المجالات ليكون لها العديد من علاقات السبب والنتيجة. يمكن أن يتسبب التغيير في مجال ما في حدوث تغييرات في مجال آخر، مما قد يتسبب في حدوث تغييرات في مجال آخر. يتم الحفاظ على الغلاف الحيوي من خلال التفاعلات مع الغازات من الغلاف الجوي ومعادن الغلاف الصخري ومياه الغلاف المائي في دورة الطاقة. يعد الغلاف الجوي ضروريّاً للغلاف الحيوي؛ لأنه يمد الكائنات الحية بالأكسجين والماء وثاني أكسيد الكربون وبعض العناصر الغذائية، ويحمي

الكائنات الحية من درجات الحرارة الشديدة والأشعة فوق البنفسجية. خارج الغلاف الحيوي، يتفاعل الغلاف الجوي مع الغلاف الصخري والغلاف المائي عندما تتأثر أمواج المحيط بسبب تباطؤ الرياح بسبب الاحتكاك من الأرض. يتفاعل الغلاف الصخري مع الغلاف المائي والغلاف الجوي من خلال عمليات مثل التعرية حيث تتم إزالة الصخور والتربة من خلال التجوية الفيزيائية والكيميائية.

كيف تتفاعل الأغلفة الكروية للأرض؟

الغلاف المائي والغلاف الجوي: يتفاعل الغلاف المائي والغلاف الجوي لتكوين هطول الأمطار. تبخر حرارة الشمس الماء من المحيطات ويتكثف في السحب الممطرة. عندما تصبح جزيئات الماء ثقيلة جدّاً بحيث لا تظل معلقة، فإنها تسقط على شكل قطرات مطر.

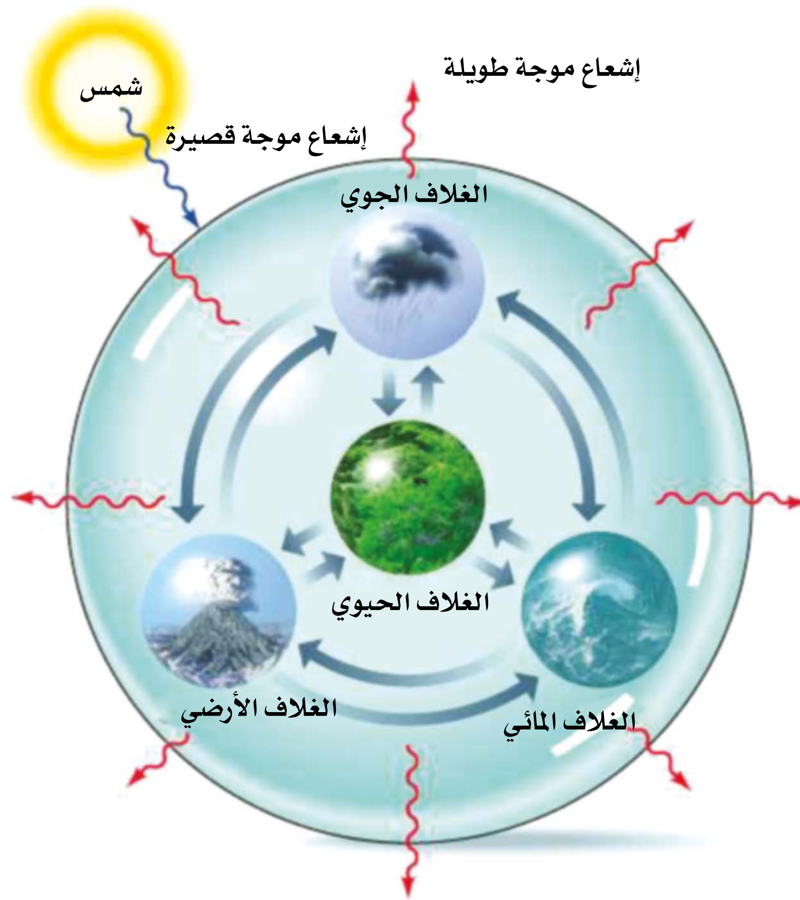
الغلاف المائي و الغلاف الحيوي: تحتاج جميع الكائنات الحية إلى إمدادات المياه للبقاء على قيد الحياة، إما من البحيرات والأنهار، إما من مخازن المياه داخل النباتات والحيوانات التي تأكلها.

الغلاف الحيوي والغلاف الصخري: تنمو النباتات في الرمال والتربة، وهي جزء من الغلاف الصخري يسمى الغلاف الأرضي.

الغلاف الصخري والغلاف المائي: يؤثر الغلاف المائي في الغلاف الصخري من خلال تكوين الأنهار والجداول. تعمل قوة وضغط الماء على حفر القنوات في الصخور التي تصبح مجاري مائية.

الغلاف الجوي والغلاف الصخري: النشاط البركاني هو التفاعل بين الغلاف الجوي والغلاف الصخري. عندما يذوب الوشاح وتخلق فقاعات الغاز ضغطاً تحت الأرض، فإنها تنفجر كحمم بركانية، وتطلق ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون والبخار والرماد في الغلاف الجوي.





يتشكل النظام الأرضي من خلال تفاعل الأغلفة الجوية والمائية والحيوية والأرضية مع بعضها

الدورات البيوجيوكيميائية Biogeochemical Cycles

تتدفق الطاقة بشكل مباشر من خلال النظم البيئية، حيث تدخل في صورة ضوء الشمس أو (جزيئات غير عضوية للتغذية الكيميائية) وتترك كحرارة أثناء عمليات النقل بين المستويات الغذائية. بدلاً من التدفق عبر نظام بيئي، يتم الحفاظ على المادة التي تتكون منها الكائنات الحية وإعادة تدويرها. تتخذ العناصر الستة الأكثر شيوعاً المرتبطة بالجزيئات العضوية - الكربون والنيتروجين والهيدروجين والأكسجين والفوسفور والكبريت - مجموعة متنوعة من الأشكال الكيميائية وقد توجد لفترات طويلة في الغلاف الجوي أو على الأرض أو في الماء أو تحت سطح الأرض. تلعب العمليات الجيولوجية، مثل التجوية والتعرية وتصريف المياه واندساس الصفائح القارية، دوراً في تدوير العناصر على الأرض. نظراً لأن للجيولوجيا والكيمياء دوراً رئيسيّاً في دراسة هذه العملية، فإن إعادة تدوير المواد غير العضوية بين الكائنات الحية وبيئتها غير الحية تسمى دورة الكيمياء الحيوية.

الماء، الذي يحتوي على الهيدروجين والأكسجين، ضروري لجميع العمليات الحية. الغلاف المائي هو مساحة الأرض التي تحدث فيها حركة المياه وتخزينها: مثل الماء السائل على السطح (الأنهار، والبحيرات، والمحيطات) وتحت السطح (المياه الجوفية) أو الجليد (القمم الجليدية القطبية والأنهار الجليدية)، وكبخار ماء في الجو. يوجد الكربون في جميع الجزيئات العضوية الكبيرة وهو مكون مهم للوقود الأحفوري. يعتبر النيتروجين مكوناً رئيسيّاً للأحماض والبروتينات النووية لدينا وهو أمر بالغ الأهمية للزراعة البشرية. يعد الفوسفور، أحد المكونات الرئيسية للأحماض النووية، أحد المكونات الرئيسية (إلى جانب



النيتروجين) في الأسمدة الصناعية المستخدمة في الزراعة، التي لها تأثيرات بيئية في المياه السطحية لدينا. يتم إطلاق الكبريت، وهو عنصر حاسم في الطي ثلاثي الأبعاد للبروتينات، في الغلاف الجوي عن طريق حرق الوقود الأحفوري.

إن دورة هذه العناصر مترابطة. على سبيل المثال، تعتبر حركة المياه أمراً بالغَ الأهمية لتسرّب النيتروجين والفوسفات في الأنهار والبحيرات والمحيطات. المحيط هو أيضاً خزان رئيسي للكربون. وبالتالي، يتم تدوير المغذيات المعدنية، إما بسرعة إما ببطء، عبر المحيط الحيوي بأكمله بين العالم الحيوي وغير الحيوي ومن كائن حي إلى آخر.

دورة الكربــــــــون Carbon Cycle

الكربون هو العمود الفقري للحياة على الأرض. نحن نأكل الكربون، وحضاراتنا – اقتصاداتنا، ومنازلنا، ووسائل نقلنا – مبنية على الكربون. نحن بحاجة إلى الكربون، لكن هذه الحاجة مرتبطة أيضاً بواحدة من أخطر المشكلات التي تواجهنا اليوم: تغير المناخ العالمي.

عنصر الكربون من أهم العناصر التي لها دور مُهمٌّ في إضفاء الحياة على كوكب الأرض، فهو يدخل في تكوين معظم العناصر ولكن بنسب مختلفة، فعلى سبيل المثال يدخل في تكوين كل من (غلاف الأرض الجوي – غلاف الأرض الحيوي – غلاف الأرض المائي – غلاف الأرض الصخري). فهو يتواجد في كل أشكال الحياة العضوية وكما أنه يتحد مع الأكسجين من أجل تكوين ثاني أكسيد الكربون الذي تقوم النباتات باستخلاصه من الجو من أجل استخدامه في عملية البناء الضوئي اللازمة لكي تصنع غذائها بنفسها. كما تقوم النبات عقب امتصاص ثاني أكسيد الكربون بإخراج الأكسجين اللازم لتنفس الكائنات الحية من جهة، ومن جهة أخري هناك بعض الحيوانات التي تتغذى على هذه النباتات وتتنفس أيضاً، وفي أثناء تنفسها تُخرج غاز ثاني أكسيد الكربون، من ذلك نستنتج أن دورة الكربون وعلى الرغم من أهميتها فإنها تعتبر شديدة التعقيد.

يعتبر الكربون رابع أكثر العناصر وفرة في الكون. يتم تخزين معظم كربون الأرض – حوالي 65500 مليار طن متري – في الصخور. والباقي في المحيط والغلاف الجوي والنباتات والتربة والوقود الأحفوري.

تعد الطحالب والنباتات الخضراء الأرضية من العوامل الرئيسية لتثبيت ثاني أكسيد الكربون من خلال عملية التمثيل الضوئي، التي يتم من خلالها تحويل ثاني أكسيد الكربون والماء إلى كربوهيدرات بسيطة. يتم استخدام هذه المركبات من قبل المنتجين لمواصلة عملية التمثيل الغذائي، ويتم تخزين الفائض على شكل دهون وعديد السكاريد. ثم يتم تناول المنتجات المخزنة من قِبل الكائنات الحية، من الكائنات الأولية إلى الإنسان، التي تحولها إلى أشكال أخرى. تتم إضافة ثاني أكسيد الكربون مباشرة إلى الغلاف الجوي عن طريق الحيوانات وبعض الكائنات الحية الأخرى كمنتج ثانوي للتنفس. يتم إطلاق الكربون الموجود في فضلات الحيوانات وفي أجسام جميع الكائنات الحية على شكل ثاني أكسيد الكربون عن طريق التحلل أو التحلل والكائنات (بشكل رئيسي البكتيريا والفطريات) في سلسلة من التحولات الميكروبية.

دورة الكربون البطيئة

يتدفق الكربون بين كل خزان في تبادل يسمى دورة الكربون، التي تحتوي على مكونات بطيئة وسريعة. أي تغيير في الدورة ينقل الكربون من أحد المكمن يضع المزيد من الكربون في الخزانات الأخرى. تؤدي التغييرات التي تنشر غازات الكربون في الغلاف الجوي إلى درجات حرارة أكثر دفئاً على الأرض.

على المدى الطويل، يبدو أن دورة الكربون تحافظ على التوازن الذي يمنع كل الكربون الموجود على الأرض من دخول الغلاف الجوي أو من أن يتم تخزينه بالكامل في الصخور. يساعد هذا التوازن في الحفاظ على استقرار درجة حرارة الأرض نسبيّاً، مثل منظم الحرارة.



يعمل منظم الحرارة هذا على مدى بضع مئات الآلاف من السنين، كجزء من دورة الكربون البطيئة. هذا يعني أنه لفترات زمنية أقصر – من عشرات إلى مائة ألف سنة – يمكن أن تختلف درجة حرارة الأرض. وفي الواقع، تتأرجح الأرض بين العصور الجليدية والفترات الجليدية الأكثر دفئاً في هذه المقاييس الزمنية. قد تؤدي أجزاء من دورة الكربون إلى تضخيم هذه التغيرات في درجات الحرارة على المدى القصير.

من خلال سلسلة من التفاعلات الكيميائية والنشاط التكتوني، يستغرق الكربون ما بين 100–200 مليون سنة للتنقل بين الصخور والتربة والمحيطات والغلاف الجوي في دورة الكربون البطيئة. في المتوسط ، يتحرك 1013 إلى 1014 جراماً (10–100 مليون طن متري) من الكربون خلال دورة الكربون البطيئة كل عام. وبالمقارنة، فإن انبعاثات الكربون البشرية في الغلاف الجوي هي في حدود 1015 جراماً، بينما تتحرك دورة الكربون السريعة من 1016 إلى 1017 جراماً من الكربون سنويّاً.

تبدأ حركة الكربون من الغلاف الجوي إلى الغلاف الصخري (الصخور) بالمطر. يتحد كربون الغلاف الجوي مع الماء لتكوين حمض ضعيف – حمض الكربونيك – يسقط على السطح تحت المطر. يذوب الحمض الصخور – وهي عملية تسمى التجوية الكيميائية – ويطلق الكالسيوم أو المغنيسيوم أو البوتاسيوم أو أيونات الصوديوم. الأنهار تحمل الأيونات إلى المحيط.

في المحيط، تتحد أيونات الكالسيوم مع أيونات البيكربونات لتكوين كربونات الكالسيوم، والمكون النشط في مضادات الحموضة، والمادة البيضاء الطباشيرية

التي تجف على الصنبور إذا كنت تعيش في منطقة بها ماء عسر. في المحيطات الحديثة، يتكون معظم كربونات الكالسيوم من كائنات بناء الصدف (التكلس) (مثل الشعاب المرجانية) والعوالق (مثل جحور كوكوليثوفورس والمنخربات). بعد موت الكائنات الحية، تغرق في قاع البحر. بمرور الوقت، يتم لصق طبقات من الأصداف والرواسب معاً وتتحول إلى صخر، وتخزين الكربون في الحجر - الحجر الجيري ومشتقاته.

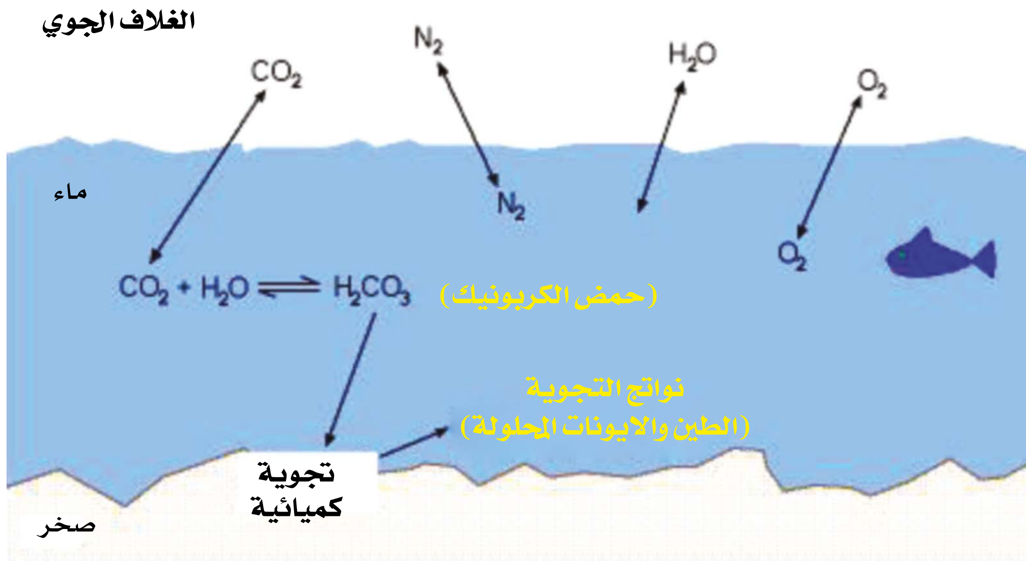
فقط 80 % من الصخور المحتوية على الكربون تصنع بهذه الطريقة. تحتوي نسبة الـ 20 % المتبقية على الكربون من الكائنات الحية (الكربون العضوي) التي تم دمجها في طبقات من الطين. تعمل الحرارة والضغط على ضغط الطين والكربون على مدى ملايين السنين، وتشكيل الصخور الرسوبية مثل الصخر الزيتي. في حالات خاصة، عندما تتراكم المادة النباتية الميتة بشكل أسرع مما يمكن أن تتحلل، تصبح طبقات الكربون العضوي زيتاً أو فحماً أو غازاً طبيعيّاً بدلاً من الصخور الرسوبية مثل الصخر الزيتي.

تعيد الدورة البطيئة الكربون إلى الغلاف الجوي من خلال البراكين. تقع أسطح الأرض والمحيطات على العديد من الصفائح القشرية المتحركة. عندما تصطدم الصفائح، تغرق إحداهما تحت الأخرى، وتذوب الصخور التي تحملها تحت حرارة وضغط شديدين. تتحد الصخور الساخنة إلى معادن السيليكات، وتطلق ثاني أكسيد الكربون.

عندما تندلع البراكين، فإنها تنفث الغاز في الغلاف الجوي وتغطي الأرض بصخور السيليكات الطازجة لبدء الدورة مرة أخرى. في الوقت الحاضر، تنبعث من البراكين ما بين 130 و 380 مليون طن متري من ثاني أكسيد الكربون سنويّاً.

للمقارنة، يُصدر البشر حوالي 30 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون سنويّاً - أي 100–300 مرة أكثر من البراكين - عن طريق حرق الوقود الأحفوري.

تنظم الكيمياء هذا التفاعل بين المحيط والأرض والغلاف الجوي. إذا ارتفع ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بسبب زيادة النشاط البركاني، على سبيل المثال، ترتفع درجات الحرارة، مما يؤدي إلى مزيد من الأمطار، مما يؤدي إلى إذابة المزيد من الصخور، مما ينتج عنه المزيد من الأيونات التي ستؤدي في النهاية إلى ترسيب المزيد من الكربون في قاع المحيط. يستغرق الأمر بضعَ مئات الآلاف من السنين لإعادة التوازن إلى دورة الكربون البطيئة من خلال التجوية الكيميائية.



دورة الكربون البطيئة من خلال التجوية الكيميائية



دورة الكربون السريعة

يتم قياس الوقت الذي يستغرقه الكربون للتحرك خلال دورة الكربون السريعة في العمر الافتراضي. إن دورة الكربون السريعة هي إلى حد كبير حركة الكربون من خلال أشكال الحياة على الأرض، أو المحيط الحيوي. ما بين 1015 و 1017 جراماً (1000 إلى 100000 مليون طن متري) من الكربون يتحرك خلال دورة الكربون السريعة كل عام.

يلعب الكربون دوراً أساسيّاً في علم الأحياء بسبب قدرته على تكوين العديد من الروابط - حتى أربعة لكل ذرة - في مجموعة متنوعة لا نهاية لها على ما يبدو من الجزيئات العضوية المعقدة. تحتوي العديد من الجزيئات العضوية على ذرات كربون شكلت روابط قوية مع ذرات كربون أخرى، وتتحد في سلاسل طويلة وحلقات. سلاسل وحلقات الكربون هذه هي أساس الخلايا الحية. على سبيل المثال، يتكون الحمض النووي من جزيئين متشابكين مبنيين حول سلسلة كربون.

الروابط في سلاسل الكربون الطويلة تحتوي على الكثير من الطاقة. عندما تنفصل السلاسل، يتم تحرير الطاقة المخزنة. تجعل هذه الطاقة جزيئات الكربون مصدراً ممتازاً للوقود لجميع الكائنات الحية.

النباتات والعوالق النباتية هي المكونات الرئيسية لدورة الكربون السريعة. العوالق النباتية (الكائنات الحية الدقيقة في المحيط) والنباتات تأخذ ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي عن طريق امتصاصه في خلاياها. باستخدام الطاقة من الشمس، تجمع كل من النباتات والعوالق بين ثاني أكسيد الكربون (CO_2)

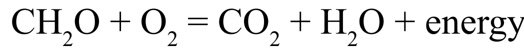


والماء لتكوين السكر (CH2O) والأكسجين. يبدو التفاعل الكيميائي كالتالي:



$$CO_2 + H_2O + energy = CH_2O + O_2$$

يمكن أن تحدث أربعة أشياء لنقل الكربون من النبات وإعادته إلى الغلاف الجوي، لكن جميعها تنطوي على نفس التفاعل الكيميائي. تكسر النباتات السكر للحصول على الطاقة التي يحتاجونها للنمو. الحيوانات (بما في ذلك البشر) تأكل النباتات أو العوالق، وتكسر السكر النباتي للحصول على الطاقة. تموت النباتات والعوالق وتتحلل (تأكلها البكتيريا) في نهاية موسم النمو. أو النار تستهلك النباتات. في كل حالة، يتحد الأكسجين مع السكر لإطلاق الماء وثاني أكسيد الكربون والطاقة. يبدو التفاعل الكيميائي الأساسي كما يلي:



$$CH_2O + O_2 = CO_2 + H_2O + energy$$

في جميع العمليات الأربع، عادةً ما ينتهي ثاني أكسيد الكربون المنطلق في التفاعل في الغلاف الجوي. ترتبط دورة الكربون السريعة ارتباطاً وثيقاً بالحياة النباتية بحيث يمكن رؤية موسم النمو بالطريقة التي يتقلب بها ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. في فصل الشتاء في نصف الكرة الشمالي، عندما ينمو عدد قليل من النباتات البرية ويتحلل الكثير منها، ترتفع تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. خلال الربيع، عندما تبدأ النباتات في النمو مرة أخرى، تنخفض التركيزات. يبدو الأمر كما لو أن الأرض تتنفس.



أشعة شمسية

دورة ثاني أكسيد الكربون

CO_2 cycle

انبعاث المصانع والسيارات

التمثيل الضوئي

تنفس النبات

كربون عضوي

تنفس الحيوان

تحلل عضوي

أعضاء ميتة و نواتج مخلفات

استنزاف المحيط

أحافير ووقود أحفوري

دورة الكربون السريعة من خلال المحيط الحيوي

تأثير الاحتباس الحراري Greenhouse Effect

في الدفيئة، يدخل ضوء الشمس، ويتم الاحتفاظ بالحرارة. يصف تأثير الدفيئة ظاهرة مماثلة في نطاق كوكبي، ولكن بدلاً من زجاج الدفيئة، تعمل غازات معينة على رفع درجات الحرارة العالمية بشكل متزايد. يمتص سطح الأرض أقل من نصف طاقة الشمس بقليل، بينما يمتص الغلاف الجوي 23 %، والباقي ينعكس مرة أخرى في الفضاء. تضمن العمليات الطبيعية تساوي كمية الطاقة الواردة والصادرة، مما يحافظ على استقرار درجة حرارة الكوكب.

ومع ذلك، فإن النشاط البشري يؤدي إلى زيادة انبعاث ما يسمى بغازات الدفيئة (GHGs) التي، على عكس الغازات الأخرى في الغلاف الجوي مثل الأكسجين والنيتروجين، تصبح محاصرة في الغلاف الجوي، غير قادرة على الهروب من الكوكب. تعود هذه الطاقة إلى السطح حيث يتم امتصاصها. لأن المزيد من الطاقة تدخل الكوكب أكثر من الخارج، تزداد درجات حرارة السطح حتى يتحقق توازن جديد.

أهم الغازات التي تسبب الاحتباس الحراري

يمثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) حوالي 76 % من الانبعاثات العالمية التي يسببها الإنسان، ويبقى لفترة طويلة. بمجرد انبعاثه في الغلاف الجوي، يبقى 40 % منه بعد 100 عام، و 20 % بعد 1000 عام، و 10 % بعد 10 آلاف عام.

الميثان. على الرغم من أن الميثان (CH4) يستمر في الغلاف الجوي لفترة أقل بكثير من ثاني أكسيد الكربون (حوالي عقد من الزمان)، فإنه أكثر فاعلية



من حيث تأثير الاحتباس الحراري. في الواقع، الجنيه مقابل الجنيه، فإن تأثيره في الاحتباس الحراري أكبر بـ 25 مرة من تأثير ثاني أكسيد الكربون في مدى 100 عام. على الصعيد العالمي، فهي مسؤولة عن ما يقرب من 16 % من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري التي يتسبب فيها الإنسان.

أكسيد النيتروز (N_2O) من الغازات الدفيئة القوية: له قدرة احترار عالمي 300 مرة من ثاني أكسيد الكربون على نطاق زمني مدته 100 عام، ويبقى في الغلاف الجوي، في المتوسط ، أكثر من قرن بقليل. يمثل حوالي 6 % من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري التي يسببها الإنسان في جميع أنحاء العالم.



تأثير ظاهرة الاحتباس الحراري



دورة الأكســـــجين Oxygen Cycle

كما نعلم جميعاً، الهواء عبارة عن مزيج من الغازات. يتكون الهواء في الغلاف الجوي من غـــــازات مختلفة، وهي النيتـــروجين (78 %) والأكسجين (21 %) والأرجون والغازات النزرة الأخرى (1 %). وفقاً لتاريخ الأرض، تم إدخال غاز الأكسجين لأول مرة بواسطة البكتيريا الزرقاء من خلال عملية التمثيل الضوئي. في وقت سابق، منذ حوالي 4.6 مليار سنة، لم تكن هناك حياة على كوكب الأرض لأن الغلاف الجوي كان خالياً من الأكسجين. في وقت لاحق، كانت هناك زيادة تدريجية في مستويات الأكسجين وبحلول العصر الكربوني - قبل 299 مليون سنة، وصل الأكسجين إلى المستويات التي كانت مماثلة لتقديرات اليوم.

اليوم، يتوفر الأكسجين مجاناً في الهواء ويذوب أيضاً في الماء. إنه ثاني أكثر الغازات وفرة في الغلاف الجوي وأيضاً العنصر الأكثر شيوعاً في جسم الإنسان. يلعب دوراً أساسيّاً في معظم أشكال الحياة على الأرض، ويعمل أيضاً كعنصر أساسي في الجزيئات الحيوية مثل البروتينات والأحماض النووية.

تلعب دورة الأكسجين جنباً إلى جنبٍ مع دورة الكربون ودورة النيتروجين دوراً أساسيّاً في وجود الحياة على الأرض. دورة الأكسجين هي عملية بيولوجية تساعد في الحفاظ على مستوى الأكسجين من خلال التحرك عبر ثلاث مناطق رئيسية على الأرض، وهي: الغلاف الجوي -ليثوسفير- المحيط الحيوي. الغلاف الجوي هو في الواقع أصغر مصدر للأكسجين على الأرض، ويشكل 0.35 % فقط من إجمالي الأكسجين الموجود على الأرض. الأصغر يأتي من الغلاف الجوي.



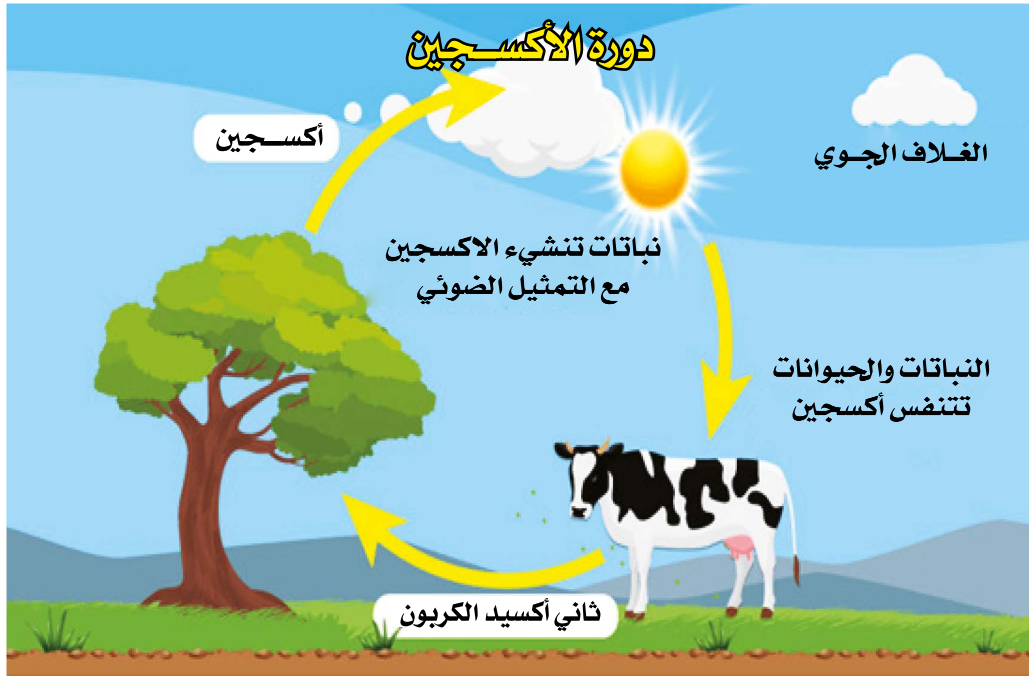
الأكبر كما ذكر من قبل في قشرة الأرض. دورة الأكسجين هي الطريقة التي يتم بها إصلاح الأكسجين لتحريره في كل من هذه المناطق الرئيسية.

يتم تحرير الأكسجين في الغلاف الجوي من خلال عملية تسمى التحلل الضوئي. يحدث هذا عندما يكسر ضوء الشمس عالي الطاقة الجزيئات الحاملة للأكسجين لإنتاج الأكسجين الحر. واحدة من أكثر التحلل الضوئي المعروفة هي دورة الأوزون. يتحلل جزيء الأكسجين O2 إلى أكسجين ذري بواسطة الأشعة فوق البنفسجية لأشعة الشمس. ثم يتحد هذا الأكسجين الحر مع جزيئات O2 الموجودة لإنتاج O3 أو الأوزون. هذه الدورة مُهمَّة؛ لأنها تساعد على حماية الأرض من غالبية الأشعة فوق البنفسجية الضارة وتحويلها إلى حرارة غير ضارة قبل أن تصل إلى سطح الأرض.

الدورات الرئيسية في المحيط الحيوي هي التنفس والتمثيل الضوئي. التنفس هو عندما تتنفس الحيوانات والبشر باستهلاك الأكسجين لاستخدامه في عملية التمثيل الغذائي وزفير ثاني أكسيد الكربون. التمثيل الضوئي هو عكس هذه العملية ويتم بشكل أساسي بواسطة النباتات والعوالق.

غالباً ما يثبت الغلاف الصخري الأكسجين في المعادن، مثل: السيليكات والأكاسيد. معظم الوقت تكون العملية تلقائية، كل ما يتطلبه الأمر هو شكل نقي من عنصر يتلامس مع الأكسجين مثل ما يحدث عندما يصدأ الحديد. يتم تحرير جزء من الأكسجين بواسطة التجوية الكيميائية. عندما يتعرض المعدن الحامل للأكسجين للعناصر، يحدث تفاعل كيميائي يؤدي إلى تآكله وفي هذه العملية ينتج الأكسجين الحر.

تشـرح هـذه الـدورة البيوجيوكيميائيـة حركـة غـاز الأكسـجين داخـل الغـلاف الجـوي والنظـام البيئـي والمحيـط الحيـوي والغـلاف الصخـري. ترتبـط دورة الأكسـجين بـدورة الكربـون.



حركة غاز الأكسجين داخل الغلاف الجوي والبيئي والحيوي والصخري

مراحـــــل دورة الأكســـجين

الخطوات المتبعة في دورة الأكسجين هي:

المرحلة الأولى: جميع النباتات الخضراء أثناء عملية التمثيل الضوئي، تطلق الأكسجين مرة أخرى في الغلاف الجوي كمنتج ثانوي.

المرحلة الثانية: تستخدم جميع الكائنات الحية الهوائية الأكسجين الحر للتنفس.

المرحلة الثالثة: تقوم الحيوانات بإخراج ثاني أكسيد الكربون مرة أخرى إلى الغلاف الجوي، الذي تستخدمه النباتات مرة أخرى أثناء عملية التمثيل الضوئي. الآن الأكسجين متوازن داخل الغلاف الجوي.

العمليات الرئيسية الأربع التي تستخدم الأكسجين الجوي هي:

التنفس: هي العملية الفيزيائية، التي من خلالها تستنشق جميع الكائنات الحية، بما في ذلك النباتات والحيوانات والبشر الأكسجين من البيئة الخارجية إلى خلايا الكائن الحي وتخرج ثاني أكسيد الكربون مرة أخرى في الغلاف الجوي.

التحلل: هو أحد العمليات الطبيعية والأكثر أهمية في دورة الأكسجين ويحدث عندما يموت الكائن الحي. تتحلل النباتات أو الحيوانات الميتة في الأرض، ويتم إرجاع المواد العضوية مع الكربون والأكسجين والماء والمكونات الأخرى إلى التربة والهواء. يتم تنفيذ هذه العملية من قبل اللافقاريات، بما في ذلك الفطريات

والبكتيريا وبعض الحشرات التي تسمى مجتمعة بالمحللات. تتطلب العملية برمتها الأكسجين وإطلاق ثاني أكسيد الكربون.

الاحتراق: وهو أيضاً أحد أهم العمليات التي تحدث عندما يتم حرق أي من المواد العضوية، بما في ذلك الوقود الأحفوري والبلاستيك والخشب، في وجود الأكسجين وإطلاق ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

الصدأ: تتطلب هذه العملية أيضاً الأكسجين. إنه تكوين الأكاسيد وهو ما يسمى أيضاً بالأكسدة. في هذه العملية، تتشكل معادن مثل الحديد أو صدأ السبائك عندما تتعرض للرطوبة والأكسجين لفترة طويلة من الزمن وتتكون مركبات جديدة من الأكاسيد من خلال دمج الأكسجين مع المعدن.

إنتاج الأكسجين

النباتات: تعتبر النباتات من أهم منشئي الأكسجين من خلال عملية التمثيل الضوئي. التمثيل الضوئي هو عملية بيولوجية تقوم من خلالها جميع النباتات الخضراء بتجميع طعامها في وجود ضوء الشمس. أثناء عملية التمثيل الضوئي، تستخدم النباتات ضوء الشمس والماء وثاني أكسيد الكربون لتوليد الطاقة ويتم تحرير غاز الأكسجين كمنتج ثانوي لهذه العملية.

ضوء الشمس: ينتج ضوء الشمس الأكسجين أيضاً. ينتج بعض غاز الأكسجين عندما يتفاعل ضوء الشمس مع بخار الماء في الغلاف الجوي.

دورة النيتروجين Nitrogen Cycle

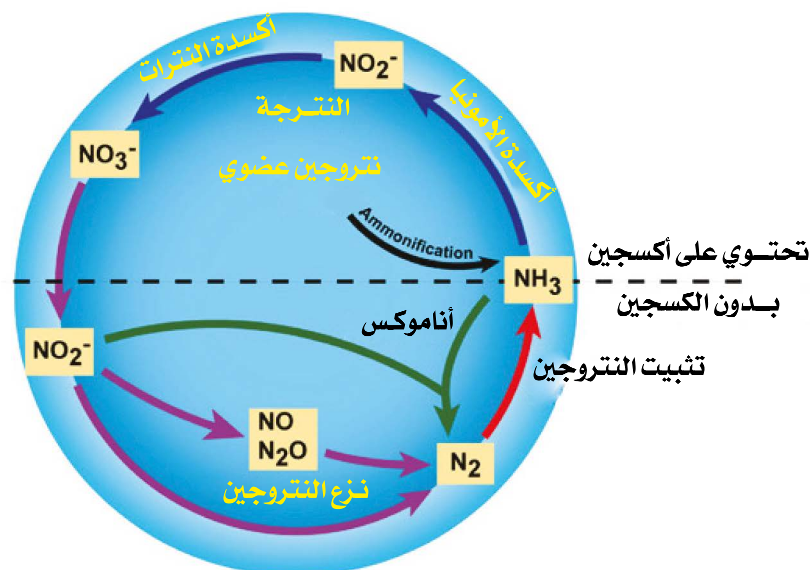
النيتروجين، أو N، باستخدام اختصاره العلمي، هو عنصر عديم اللون والرائحة. يوجد النيتروجين في التربة، وفي الماء، وفي الهواء. في الواقع، النيتروجين هو العنصر الأكثر وفرة في الغلاف الجوي للأرض. النيتروجين مهم لجميع الكائنات الحية، بما في ذلك نحن. يلعب دوراً رئيسيّاً في نمو النبات: قلة النيتروجين والنباتات لا يمكنها الازدهار، مما يؤدي إلى انخفاض غلة المحاصيل؛ لكن الكثير من النيتروجين يمكن أن يكون ساماً للنباتات. النيتروجين ضروري لإمداداتنا الغذائية، لكن النيتروجين الزائد يمكن أن يضر بالبيئة.

النيتروجين، أحد مكونات البروتينات والأحماض النووية، ضروري للحياة على الأرض. على الرغم من أن 78 % من حجم الغلاف الجوي عبارة عن غاز نيتروجين، فإن هذا الخزان الوفير موجود في شكل غير صالح للاستعمال من قبل معظم الكائنات الحية. ومع ذلك، فمن خلال سلسلة من التحولات الميكروبية، يتم توفير النيتروجين للنباتات، التي بدورها تحافظ في النهاية على الحياة الحيوانية بأكملها. تتدرج الخطوات، التي ليست متسلسلة تماماً، في التصنيفات التالية: تثبيت النيتروجين، واستيعاب النيتروجين، والأمونيا، والنيتروجين، ونزع النتروجين.

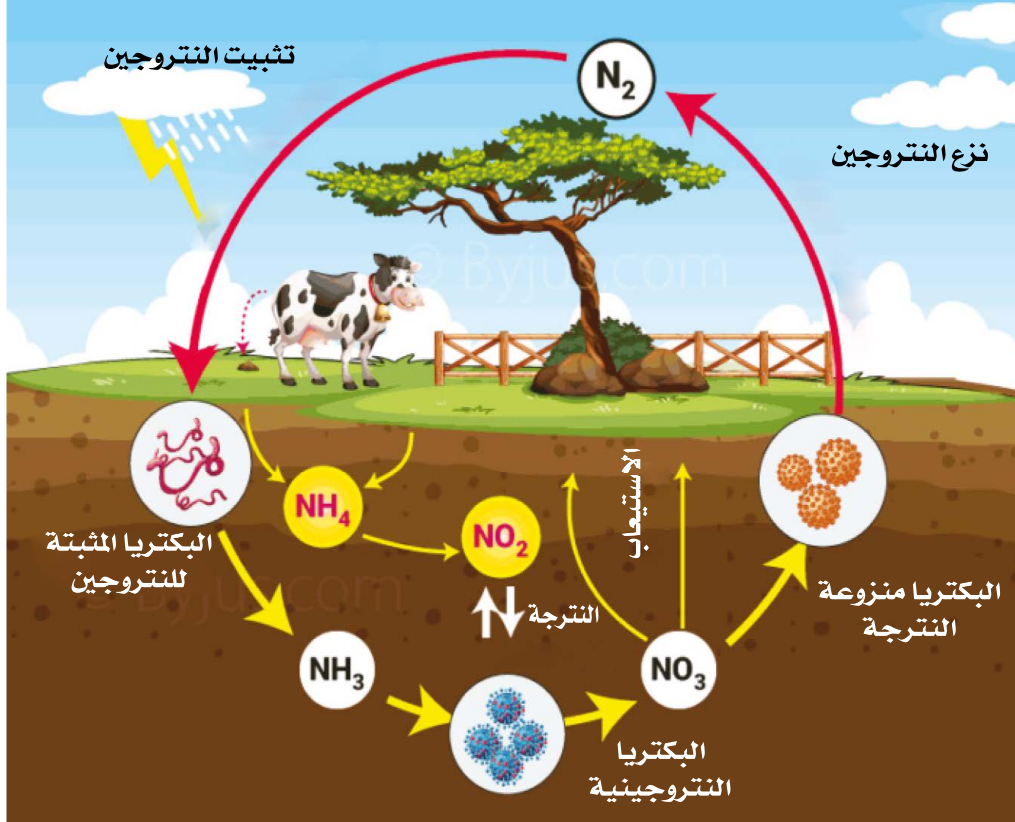
دورة النيتروجين هي عملية بيوجيوكيميائية يتم من خلالها تحويل النيتروجين إلى أشكال عديدة، ويمر على التوالي من الغلاف الجوي إلى التربة إلى الكائن الحي ويعود إلى الغلاف الجوي. يتضمن العديد من العمليات مثل تثبيت النيتروجين، النترجة، نزع النتروجين، الاضمحلال والتعفن.

يوجد غاز النيتروجين في كل من الأشكال العضوية وغير العضوية. يوجد النيتروجين العضوي في الكائنات الحية، ويتم تمريرها عبر السلسلة الغذائية عن طريق استهلاك الكائنات الحية الأخرى. توجد أشكال غير عضوية من النيتروجين بكثرة في الغلاف الجوي. يتم توفير هذا النيتروجين للنباتات عن طريق البكتيريا التكافلية التي يمكنها تحويل النيتروجين الخامل إلى شكل قابل للاستخدام، مثل: النيتريت والنترات.

يخضع النيتروجين لأنواع مختلفة من التحول للحفاظ على التوازن في النظام البيئي. علاوة على ذلك، تمتد هذه العملية إلى المناطق الأحيائية المختلفة، حيث تعد دورة النيتروجين البحري واحدة من أكثر الدورات البيوجيوكيميائية تعقيداً.







مراحل دورة النيتروجين

مراحـــــل دورة النيتـروجـــــين

دورة النيتروجين عبارة عن دورة متكررة من العمليات التي يتحرك خلالها النيتروجين عبر الكائنات الحية وغير الحية: الغلاف الجوي والتربة والماء والنباتات والحيوانات والبكتيريا الكائنات الحية المجهرية التي تحتوي عادة على خلية واحدة فقط وتوجد في كل مكان. يمكن أن تسبب البكتيريا تحلل أو تكسير المواد العضوية في التربة.. من أجل التحرك خلال الأجزاء المختلفة من الدورة، يجب أن يغير النيتروجين أشكاله. يوجد النيتروجين في الغلاف الجوي

كغاز (N_2)، ولكنه موجود في التربة كأكسيد النيتروجين، NO، وثاني أكسيد النيتروجين، NO_2، وعند استخدامه كسماد، يمكن العثور عليه في أشكال أخرى، مثل الأمونيا، NH_3، التي يمكن معالجتها بشكل أكبر إلى سماد مختلف، نترات الأمونيوم، أو NH_4NO_3.

هناك خمس مراحل في دورة النيتروجين، وسنناقش الآن كل منها على حِدة: التثبيت أو التطاير، والتمعدن، والنترة، والتثبيت، ونزع النتروجين. في هذه الصورة، تحول الميكروبات في التربة غاز النيتروجين (N_2) إلى ما يسمى الأمونيا المتطايرة (NH_3)، لذلك تسمى عملية التثبيت التطاير. النض: عندما يتم تصريف مادة معدنية أو مادة كيميائية، مثل (النترات أو NO_3) بعيداً عن التربة أو أي مادة أرضية أخرى وتتسرب إلى المنطقة المحيطة. هو المكان الذي تتحلل فيه أشكال معينة من النيتروجين، مثل (النترات أو NO_3) في الماء وتتسرب من التربة، مما قد يؤدي إلى تلوث المجاري المائية.

المرحلة 1: تثبيت النيتروجين FIXATION

في هذه المرحلة، ينتقل النيتروجين من الغلاف الجوي إلى التربة. يحتوي الغلاف الجوي للأرض على تجمع ضخم من غاز النيتروجين (N_2). لكن هذا النيتروجين «غير متوفر» للنباتات، لأن الشكل الغازي لا يمكن للنباتات استخدامه مباشرة دون الخضوع لعملية تحول. لكي تستخدمه النباتات، يجب تحويل N_2 من خلال عملية تسمى تثبيت النيتروجين. يحول التثبيت النيتروجين في الغلاف الجوي إلى أشكال يمكن للنباتات امتصاصها من خلال أنظمة جذورها.

يمكن تثبيت كمية صغيرة من النيتروجين عندما يوفر البرق الطاقة اللازمة لـ N2 للتفاعل مع الأكسجين، مما ينتج عنه أكسيد النيتروجين، وأكسيد النيتروجين، وثاني أكسيد النيتروجين، NO2. ثم تدخل هذه الأشكال من النيتروجين التربة من خلال المطر أو الثلج. يمكن أيضاً إصلاح النيتروجين من خلال العملية الصناعية التي تنتج الأسمدة. يحدث هذا الشكل من التثبيت تحت حرارة وضغط مرتفعين، حيث يتم الجمع بين النيتروجين والهيدروجين في الغلاف الجوي لتكوين الأمونيا (NH3)، التي يمكن معالجتها بعد ذلك، لإنتاج نترات الأمونيوم (NH_4NO_3)، وهو شكل من أشكال النيتروجين الذي يمكن إضافته إلى التربة والمستخدمة من قِبل النباتات.

يحدث معظم تثبيت النيتروجين بشكل طبيعي، في التربة، عن طريق البكتيريا. تلتصق بعض البكتيريا بجذور النبات ولها علاقة تكافلية (مفيدة لكل من النبات والبكتيريا) مع النبات. تحصل البكتيريا على الطاقة من خلال عملية التمثيل الضوئي، وفي المقابل، تقوم بتثبيت النيتروجين في الشكل الذي يحتاجه النبات. ثم يتم نقل النيتروجين الثابت إلى أجزاء أخرى من النبات ويستخدم في تكوين أنسجة النبات، بحيث يمكن للنبات أن ينمو. تعيش البكتيريا الأخرى بحرية في التربة أو الماء ويمكنها إصلاح النيتروجين بدون هذه العلاقة التكافلية. يمكن لهذه البكتيريا أيضاً أن تخلق أشكالاً من النيتروجين يمكن أن تستخدمها الكائنات الحية.

تكتمل عملية تثبيت النيتروجين بالكامل بواسطة بكتيريا تكافلية تُعرف باسم Diazotrophs. تلعب Azotobacter و Rhizobium أيضاً دوراً رئيسيّاً في هذه العملية. تتكون هذه البكتيريا من إنزيم النيتروجين، الذي لديه القدرة على الجمع بين غاز النيتروجين والهيدروجين لتكوين الأمونيا.



أنـــواع تثبيت النيتروجـــين

تثبيت الغلاف الجوي: ظاهـرة طبيعيـة حيـث تقـوم طاقـة البـرق بتقسـيم النيتروجـين إلـى أكاسـيد النيتروجـين ثـم تسـتخدمه النباتـات.

تثبيت النيتروجين الصناعي: هـو بديـل مـن صنـع الإنسـان يسـاعد في تثبيـت النيتروجـين عـن طريـق اسـتخدام الأمونيـا. يتـم إنتـاج الأمونيـا مـن خـلال الجمـع المباشـر بـين النيتروجـين والهيدروجـين وبعـد ذلـك يتـم تحويلها إلـى أسـمدة مختلفـة مثـل اليوريـا.

التثبيت البيولوجي للنيتروجين: نحـن نعلـم بالفعـل أن النيتروجـين لا يمكـن اسـتخدامه مباشـرة مـن الهـواء للنباتـات والحيوانـات. تقـوم البكتيريـا مثـل الجـذور والطحالـب الخضـراء المزرقـة بتحويـل الشـكل غيـر القابـل للاسـتخدام مـن النيتروجـين إلـى مركبـات أخـرى يمكـن اسـتخدامها بسـهولة أكبـر. يتـم تثبيـت مركبـات النيتروجـين هـذه في التربـة بواسـطة هـذه الميكروبـات.

المرحلة 2: التعدين MINERALIZATION

هذه المرحلة تحدث في التربة. ينتقـل النيتروجـين مـن المـواد العضويـة، مثـل السـماد الطبيعـي أو المـواد النباتيـة إلـى شـكل غيـر عضـوي مـن النيتروجـين يمكـن للنباتـات اسـتخدامه. في نهايـة المطـاف، يتـم اسـتخدام العناصـر الغذائيـة للنبـات ويمـوت النبـات ويتحلـل. يصبـح هـذا مُهمّـاً في المرحلـة الثانيـة مـن دورة النيتروجـين. يحـدث التمعـدن عندمـا تعمـل الميكروبـات علـى مـادة عضويـة، مثـل روث الحيوانـات

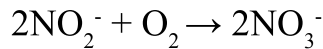
أو المـواد النباتيـة أو الحيوانيـة المتحللـة، وتبـدأ في تحويلها إلـى شـكل مـن أشـكال النيتروجـين يمكـن أن تسـتخدمه النباتـات.

المرحلة 3: التهيج NITRIFICATION

المرحلة الثالثة، النترجة، تحدث أيضاً في التربة. أثناء النترجة، يتم تحويل الأمونيـــا في التـــربة، التي يتم إنتاجها أثناء التمعدن، إلى مركبات تسمى النتريت، −NO2، والنترات، −NO3. يمكن استخدام النترات من قِبـــل النباتات والحيوانات التي تأكل النباتات. يمكن لبعض البكتيريا الموجودة في التربة تحويل الأمونيا إلى نيتريت.



$$2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 4H^+ + 2H_2O$$



$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^-$$

على الرغم من أن النتريت لا تسـتخدمه النباتـات والحيوانـات بشـكل مباشـر، فـإن البكتيريـا الأخـرى يمكنهـا تحويـل النتريـت إلـى نتـرات – وهـو شـكل يمكـن اسـتخدامه مـن قبـل النباتـات والحيوانـات. يوفـر هـذا التفاعـل الطاقـة للبكتيريـا المنخرطـة في هـذه العمليـة. تسـمى البكتيريـا التـي نتحـدث عنهـا Nitrosomonas و Nitrobacter . Nitrobacter يحـــول النتريـت إلـى نتـرات؛ Nitrosomonas يحـول الأمونيـا إلـى نيتريـت. كلا النوعـين مـن البكتيريـا يمكـن أن يعمـل فقـط في وجـود الأكسـجين، O2. تعتبـر عمليـة النترجـة مُهمَّـة للنباتـات، حيـث إنهـا تنتـج مخزونـاً إضافيّـاً مـن النيتروجـين المتـاح الـذي يمكـن أن تمتصـه النباتـات مـن خـلال أنظمـة الجـذر الخاصـة بهـا.

المرحلة 4: منع الحركة IMMOBILIZATION

المرحلة الرابعة من دورة النيتروجين هي التثبيت، ويوصف أحياناً بأنه عكس التمعدن. تتحكم هاتان العمليتان معاً في كمية النيتروجين في التربة. تماماً مثل النباتات، الكائنات الحية الدقيقة، الكائنات الحية، أو الكائنات الحية، صغيرة جدّاً بحيث لا يمكن رؤيتها بدون مجهر، مثل البكتيريا. الذين يعيشون في التربة يتطلب النيتروجين كمصدر للطاقة. تسحب هذه الكائنات الدقيقة في التربة النيتروجين من التربة عندما لا تحتوي بقايا النباتات المتحللة على ما يكفي من النيتروجين. عندما تأخذ الكائنات الحية الدقيقة الأمونيوم (NH_4^+) والنترات (NO_3^-)، لم تعد هذه الأشكال من النيتروجين متاحة للنباتات وقد تسبب نقصاً في النيتروجين، أو نقصاً في النيتروجين. وبالتالي، فإن التثبيت يربط النيتروجين في الكائنات الحية الدقيقة. ومع ذلك، فإن التثبيت مُهم؛ لأنه يساعد في التحكم في كمية النيتروجين في التربة وتحقيق التوازن بينها عن طريق ربطها أو شل حركة النيتروجين في الكائنات الحية الدقيقة.

المرحلة 5: التنفيس DENITRIFICATION

في المرحلة الخامسة من دورة النيتروجين، نزع النتروجين هو العملية التي تعود فيها مركبات النيتروجين إلى الغلاف الجوي عن طريق تحويل النترات (NO_3^-) إلى نيتروجين غازي (N). هذه العملية لدورة النيتروجين هي المرحلة النهائية وتحدث في غياب الأكسجين. يتم إجراء عملية نزع النتروجين من قِبل الأنواع البكتيرية المزالة للنيتروجين- Clostridium و Pseudomonas، التي ستعمل على معالجة النترات للحصول على الأكسجين وإخراج غاز النيتروجين المجاني كمنتج ثانوي.

دورة النيتروجين في النظام البيئي البحري

تحدث عملية دورة النيتروجين بنفس الطريقة في النظام البيئي البحري كما في النظام البيئي الأرضي. والفرق الوحيد هو أنه يتم تنفيذه بواسطة البكتيريا البحرية.

تسقط المركبات المحتوية على النيتروجين في المحيط حيث تنضغط الرواسب على مدى فترات طويلة وتشكل صخوراً رسوبية. بسبب الارتفاع الجيولوجي، تتحرك هذه الصخور الرسوبية إلى الأرض. في البداية، لم يكن معروفاً أن هذه الصخور الرسوبية المحتوية على النيتروجين هي مصدر أساسي للنيتروجين. ولكن، أثبتت الأبحاث الحديثة أن النيتروجين من هذه الصخور يتم إطلاقه في النباتات بسبب تجوية الصخور.

دورة الفوسفور Phosphorous Cycle

الفوسفور (P) عنصر أساسي لجميع أشكال الحياة ويتم تخزينه بشكل أساسي في التربة والرواسب. الفوسفور هو عنصر أساسي في الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP)، الذي ينقل الطاقة الكيميائية داخل الخلايا من أجل التمثيل الغذائي (أي امتصاص ونقل العناصر الغذائية)؛ الحمض النووي الريبي منقوص الأكسجين (DNA)، وهو حمض نووي يحتوي على التعليمات الجينية المستخدمة في تطوير وعمل جميع الكائنات الحية المعروفة؛ والحمض النووي الريبي (RNA)، وهو مُهم لتخليق البروتين في النباتات والحيوانات.

يوجد الفوسفور في التربة كمركبات غير عضوية وعضوية. تحتوي معظم أنواع التربة على كمية منخفضة نسبيًا من إجمالي الفوسفور، ولا يتوفر للنباتات سوى جزء صغير من إجمالي الفوسفور. معظم مركبات الفوسفور في التربة لها قابلية منخفضة للذوبان في الماء. واحد في محلول التربة، P القابل للذوبان يتحرك بشكل أساسي عن طريق الانتشار. يحدث الفوسفور في التربة عموماً على شكل الأنيونات $H2PO4^-$ أو $HPO42^-$. يتفاعل الفوسفور مع الكالسيوم (Ca2 +) والمغنيسيوم (Mg2 +) والحديد (Fe3 +) والألمنيوم (Al3 +). تفاعلات الفوسفور في التربة تعتمد على الرقم الهيدروجيني. في التربة الحمضية، يتفاعل الفوسفور القابل للذوبان في محلول التربة مع Fe و Al لتكوين ذوبان منخفض Fe و Al الفوسفات. في التربة الجيرية، يتفاعل الفوسفور القابل للذوبان في محلول التربة مع الكالسيوم لتكوين فوسفات الكالسيوم منخفض الذوبان.

تعتبر دورة الفسفور عملية بطيئة للغاية، حيث تساعد الظروف الجوية المختلفة، مثل (المطر، والتعرية) على غسل الفسفور الموجود في الصخور في التربة. في التربة، تمتص المادة العضوية، مثل (النباتات، والفطريات) الفوسفور لاستخدامه في العمليات البيولوجية المختلفة.

دورة الفوسفور هي الدورة البيوجيوكيميائية، التي تصف تحول الفسفور وانتقاله في التربة والماء والمواد العضوية الحية والميتة. تحدث إضافات الفسفور إلى التربة نتيجة لإضافات الأسمدة غير العضوية والعضوية (السماد الطبيعي وتحلل المواد العضوية (النباتية والحيوانية). يحدث تصدير الفوسفور من التربة بشكل رئيسي من خلال امتصاص النبات. يمكن أيضاً تصدير الفوسفور من التربة عن طريق الجريان السطحي والتآكل أو الفقد تحت السطحي من خلال

الترشيح. تحدث تفاعلات الامتصاص والامتصاص للفوسفور على أسطح وحواف الأكاسيد المائية ومعادن الطين والكربونات. يحدث الامتصاص بشكل عام عن طريق الروابط التساهمية لـ P مع Fe و Al في التربة الحمضية وكربونات الكالسيوم (CaCO3) في التربة القلوية. تؤثر تفاعلات الترسيب والذوبان بشكل كبير في توفر الفوسفور في التربة. يحدث انحلال معادن الفسفور عندما تذوب معادن الفسفور بمرور الوقت وتجدد الفوسفور في محلول التربة. يؤدي هذا التفاعل إلى زيادة توافر P. ومن ناحية أخرى، يحدث الترسيب عندما تتشكل معادن الفوسفور عن طريق إزالة الفوسفور من محلول التربة. هذا التفاعل يقلل من توافر P. يعتبر الترسيب والذوبان عمليتين بطيئتين للغاية. يمكن أن يحدث انحلال وترسيب الفوسفور أيضاً بسبب التغيرات في إمكانات الثور الأحمر الناتجة عن التشبع بالمياه الموسمي أو الدوري وتصريف التربة. يُعرف الدوران الميكروبي للفوسفور من الأشكال غير العضوية القابلة للذوبان إلى الأشكال العضوية غير القابلة للذوبان باسم (التثبيت). يُعرف العكس بالتمعدن. يتم تحفيز تمعدن الفوسفات بواسطة إنزيم الفوسفاتيز.

خطــوات دورة الفوسفــور

تعتبر دورة الفسفور عملية بطيئة، وتتضمن خمس خطوات رئيسية، كما هو موضح في الرسم البياني أدناه والموضحة كالتالي:

التجويـــة

نظراً لوجود المصدر الرئيسي للفوسفور في الصخور، فإن الخطوة الأولى من دورة الفوسفور تتضمن استخراج الفوسفور من الصخور عن طريق التجوية. تؤدي الأحداث المناخية، مثل المطر ومصادر التعرية الأخرى إلى انجراف الفسفور في التربة.

الامتصاص بالنباتات والحيوانـــات

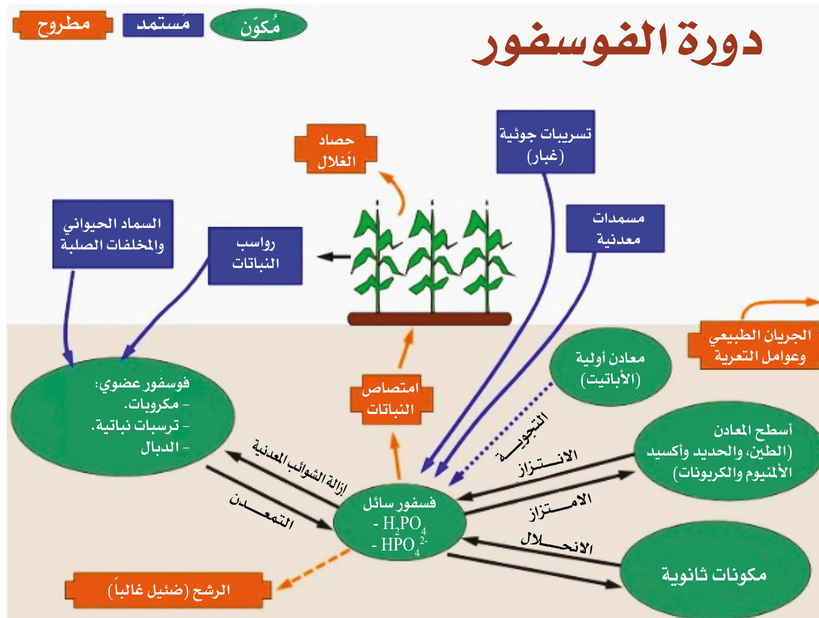
بمجرد دخول التربة، تصبح النباتات والفطريات والكائنات الحية الدقيقة قادرة على امتصاص الفسفور والنمو. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أيضاً غسل الفوسفور في أنظمة المياه المحلية. يمكن للنباتات أيضاً أن تمتص الفسفور مباشرة من الماء وتنمو. بالإضافة إلى النباتات، تحصل الحيوانات أيضاً على الفوسفور من مياه الشرب وأكل النباتات.

العـــودة إلى البيئة عن طريق التحـــلل

عندما تموت النباتات والحيوانات، يؤدي التحلل إلى عودة الفوسفور إلى البيئة عن طريق الماء أو التربة. يمكن للنباتات والحيوانات في هذه البيئات بعد ذلك استخدام هذا الفوسفور، وتتكرر الخطوة 2 من الدورة.







مراحل دورة الفوسفور البيوجيوكيميائية

الغـــلاف الجـــوي Atmosphere

يطلق على الهواء المحيط بكوكب الأرض اسم الغلاف الجوي أو الغلاف الهوائي، ويتألف الغلاف الجوي من غازات وبخار ماء وحُلالة هوائية Aerosol، ويعتبر الوسط الرئيس الذي تعتمد عليه معظم أشكال الحياة على كوكب الأرض. يحدث في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي معظم الظواهر التي نرصدها، من رياح وهطولات وحرارة . يوصف الغلاف الجوي بـ (الدرع الحامي)، الذي يضمن استمرار الحياة على كوكب الأرض، وفي الوقت الذي يسمح فيه بوصول أشعة الشمس المفيدة إلى الأرض، فإنه يمنع وصول الأشعة الضارة والنيازك إليها، فضلاً عن دوره المؤثر في تكوين المياه.

الغلاف الجوي عبارة عن غلاف غير مرئي يحيط بكوكب الأرض، ويتكوّن من مجموعة من الغازات المجذوبة إليه بفعل الجاذبية الأرضية، أبرزها النيتروجين بنسبة 78 %، والأكسجين بنسبة 21 %، وخليط من غازات أخرى، مثل: ثاني أكسيد الكربون، والأرجون، والهيليوم، والنيون بنسبة 1 %. كما يحتوي الغلاف الجوي على بخار الماء، ومجموعة من الجسيمات الصغيرة الصلبة والسائلة العائمة تسمى الهباء الجوي، منها: حبوب اللقاح، والرماد البركاني، والغبار، وتقع 98 % من كتلة الغلاف الجوي في أول 30 كيلومتراً القريبة من سطح الأرض.

يشبه الغلاف الجوي مصفاة عملاقة تسمح بدخول أشعة الشمس إلى كوكب الأرض، ويمنع وصول الأشعة فوق البنفسجية الضارة من الوصول إليها، حيث تبقى هذه الأشعة خارج الغلاف الجوي، وبذلك يحمي الكائنات الحية



من الضرر الكبير الذي تسببه هذه الأشعة، مثل: الأمراض الجلدية والبصرية، فضلاً عن أنه يزود هذه الكائنات بالهواء اللازم للتنفس، ويسهم في تنظيم وتوزيع درجات الحرارة. وهذا مصداق قول الله عز وجل: ﴿ وَجَعَلْنَا ٱلسَّمَآءَ سَقْفًا مَّحْفُوظًا ۖ وَهُمْ عَنْ ءَايَٰتِهَا مُعْرِضُونَ ﴾ [سورة الأنبياء، الآية 32].

السماء

السماء مشتقة من السموِّ والعلوِّ؛ لأنها تعلونا وتمثل منطقة فضائية مرئية من الأرض على شكل قبة كبيرة فوقنا وتحتوي على الغلاف الجوي. تتكون ألوان السماء نتيجة تبعثر أو انتشار ضوء الشمس عن طريق جزيئات الغاز وذرات الغبار في الغلاف الجوي، ويحتوي ضوء الشمس على أمواج ضوئية بأطوال مختلفة، كل موجة ترى بلون مختلف، وتبدو أقصر الأمواج الضوئية زرقاء اللون، وأطولها حمراء اللون. وعندما تكون السماء صافية تنتشر أمواج الضوء الأزرق أكثر من أية أمواج أخرى لأي لون آخر، ونتيجة لهذا، فإن السماء تبدو زرقاء اللون، حيث تكون الشمس عمودية في النهار، فتسقط أشعتها عاموديّاً على الغلاف الجوي. يظهر ضوء الشمس باللون الأبيض، وهو عبارة عن جميع ألوان الطيف المرئي المختلفة في أطوالها الموجية. تمتص جزيئات الهواء الموجودة في الغلاف الجويّ الأطوال الموجيّة القصيرة (الزرقاء، والبنفسجيّة). تعكس جزيئات الهواء الضوء البنفسجي والأزرق إلى السماء فيتشتت في جميع الاتجاهات، فكلّما قلّ الطول الموجي ازداد تشتت الضوء في قانون يُعرف باسم ظاهرة (تشتت رالي) ولأنّ عين الإنسان أكثر حساسية للون الأزرق من البنفسجي فترى السماء باللون الأزرق بدلاً من مزيج اللونين. وعندما تكون السماء ملبدة بالسحب الكثيفة، أو الدخان، تنتشر الأمواج الضوئية



بكل الألوان، وبهذا يكون لون السماء داكناً، أو رماديّاً أشهبَ، وعند طلوع أو مغيب الشمس يرتحل ضوء الشمس عبر طبقة أكثر كثافة للغلاف الجوي، أما لو كانت الشمس في منتصف النهار، فإن أمواج الضوء الأحمر تنتقل بعيداً عبر هذه الطبقة بصورة أكثر من أمواج الأضواء الأخرى، وفي مثل هذه الحالات تبدو كل من الشمس والسماء قُرْب خط الأفق حمراوين. حيث تظهر السماء باللون الأحمر وقت غروب الشمس لأنّ ضوء الشمس يكون ساقطاً على الغلاف الجوي بزوايا مائلة، لذلك فإنّ أشعة الشمس تعبر مسافة أطول في الغلاف الجوي، فيعترض طريقها عدد أكبر من جزيئات النتروجين، والأكسجين، وغيرها من الجزيئات الموجودة في الغلاف الجوي، وبالتالي تمتص قدر كبير من اللون الأزرق والبنفسجي، وتنفذ باقي الأطوال الموجية عبر الغلاف الجوي، وتنعكس عن الغيوم، والأتربة، والجزيئات الموجودة في الأفق، فتتشتت في جميع الاتجاهات، فتظهر السماء باللون الأحمر ودرجات من البرتقالي والأصفر.

لقد أخبرنا الله أنّ السماء ليست حدوداً وهمية، بل هي جرم حقيقي؛ لأنّه سماها بناء، وقال:﴿بَنَيْنَاهَا﴾ ﴿أَفَلَمْ يَنْظُرُوا إِلَى السَّمَاءِ فَوْقَهُمْ كَيْفَ بَنَيْنَاهَا وَزَيَّنَّاهَا ... ﴾ [سورة ق، الآية 6] وقال ﴿اللَّهُ الَّذِي رَفَعَ السَّمَاوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا﴾ [سورة الرعد، الآية 2] ووصفها بأنها سقف لهذا العالم، فقال: ﴿وجعلنا السماء سقفا﴾ [سورة الأنبياء الآية: 32]. وقال: ﴿والسقف المرفوع﴾ [سورة الطور، الآية 5] وجعل لها أبواباً تُفتح وتُغلق، فقال: ﴿ففتحنا أبواب السماء﴾ [سورة القمر، الآية 11] . و﴿لا تفتح لهم أبواب السماء﴾ [سورة الأعراف الآية40] ونفى أن يكون فيها منافذ غير هذه الأبواب، فقال: ﴿وما لها من فروج﴾ [سورة ق، الآية 6] وأن السماء تفتح يوم القيامة، ﴿وفتحت السماء﴾ [سورة النبأ، الآية 19] وأنها تنشق، ﴿إِذَا السَّمَاءُ انْشَقَّتْ﴾ [سورة




الانشقاق، الآية 1] وتنفطر وتكشط، وبينت النصوص أنّ السموات سبع ﴿فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ﴾ [سورة البقرة، الآية 29] ... وأن الله قد جعلها طباقًا قال: ﴿سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا﴾ [سورة نوح، الآية 15].

يقول علماء الفضاء إن طبقة الغلاف الجوي المحيطة بالأرض يزيد سمكها على خمسة وستين ألف كيلومتر نحو الأعلى، و إن جو الأرض عبارة عن حاجز حقيقي، فهو على الرغم من أنه قليل الكثافة، فإنه سميك جدّاً، فهو يوقف الأشعة، ويحرق الشُهُب، وهو يحمي حياتنا الدنيوية، ويحافظ عليها، ولا يسمح إلا لكل ما هو نافعٌ لنا بالوصول إلى سطح الأرض.

ثمة علماء قسموا طبقات الغلاف الجوي إلى سبع طبقات ولكن بعض الباحثين اعتبر أن هذه الطبقات السماوات السبع التي جاء ذكرها في القرآن الكريم هي سماوات أخرى مصداقاً لقوله تعالى: ﴿وَزَيَّنا السمَاءَ الدنْيَا بِمَصَابِيحَ وَحِفْظاً ذَلِكَ تَقْدِيرُ العَزِيزِ العَلِيمِ﴾ [سورة فصلت، الآية 12] ، والمصابيح هي النجوم، والنجوم كما نعلم تقع خارِج الغلاف الجوي بل خارج المجموعة الشمسية، ولو تأملنا المجرات في الكون لوجدنا أنها تتألف من مليارات النجوم، وهي تزين السماء أيضاً، ولذلك يرى بعض العلماء أن كل ما نراه من نجوم ومجرات، يقع في السماء الدنيا لأن الله يقول: ﴿ولقد وَزَيَّنا السمَاءَ الدنْيَا بِمَصَابِيحَ﴾ [سورة الملك، الآية 5] ، أي أن هذه النجوم تزين السماء الأولى (الدنيا) أي الأقرب إلينا، وبقية السماوات لا يعلم حدودها إلا الله تعالى .

وخلاصة القول: إن طبقات الغلاف الجوي تقع في السماء الدنيا، ومجموعتنا الشمسية تقع في السماء الدنيا، وكل المجرات تقع في السماء الدنيا كذلك، أما السماء الثانية والثالثة والرابعة، حتى السابعة فلم نتمكن من رؤيتها بعد، ولكن قد يكشف الله للعلماء أسرار هذه السماوات في المستقبل، والله أعلم .

طبقات الغلاف الجوي

يتكون الغلاف الجوي للأرض من خمس طبقات رئيسية وعدة طبقات ثانوية بناءً على كيفية تغير درجة الحرارة في تلك الطبقة مع الارتفاع. يقل سمك كل طبقة من طبقات الغلاف الجوي كلما ارتفعنا لأعلى، حتى يلتقي الغلاف الجوي بالفضاء الخارجي. وضع العلماء خطاً وهميّاً يسمى كارمان، وهو الخط الذي يلتقي فيه الغلاف الجوي للأرض عن الفضاء الخارجي، ويقع ذلك الخط على مسافة 100 كم من سطح الأرض. تتألف الطبقات من الأدنى إلى الأعلى، على النحو التالي: طبقة التروبوسفير والستراتوسفير والميزوسفير والثيرموسفير والإكسوسفير، إضافةً لحافة الفضاء الخارجي، وسنأتي في ما يأتي على تفاصيل كل طبقة على حِدة:

1. طبقة التروبوسفير Troposphere

تمتد طبقة تروبوسفير الأرض من سطح الأرض إلى ارتفاع يبلغ في المتوسط نحو 12 كيلومتراً، مع انخفاض ارتفاعه عند قطبيِ الأرض وأعلى عند خط الاستواء. ومع ذلك، فإن هذه الطبقة الضحلة جدّاً مهمتها الاحتفاظ بجميع نباتات الهواء التي تحتاجها لعملية التمثيل الضوئي وتحتاج الحيوانات إلى التنفس، وتحوي أيضاً على نحو 99 % من كل بخار الماء والهباء الجوي (جزيئات صلبة أو سائلة دقيقة معلقة في الغلاف الجوي). في طبقة التروبوسفير، تنخفض درجات الحرارة عادةً كلما ارتفعت، نظراً لأن معظم الحرارة الموجودة في طبقة التروبوسفير تتولد عن نقل الطاقة من سطح الأرض. طبقة التروبوسفير هي

أكثر طبقات الغلاف الجوي كثافة، وتضغط بفعل وزن باقي الغلاف الجوي فوقها. يحدث معظم طقس الأرض هنا، وتوجد هنا جميع السحب الناتجة عن الطقس تقريباً، باستثناء السحب الرعدية الركامية، التي يمكن أن ترتفع قممها إلى أدنى أجزاء الستراتوسفير المجاورة. يحدث معظم الطيران هنا بما في ذلك في المنطقة الانتقالية بين طبقة التروبوسفير والستراتوسفير.

تتصل الطبقة المضطربة (طبقة التروبوسفير) من الغلاف الجوي اتصالاً مباشراً بسطح الأرض، لذلك تتأثر كثيراً بما يحدث على سطح الأرض من عمليات، مثل: تبخر مياه المحيطات، وعملية التركيب الضوئي، وتنفس الكائنات الحية، والأنشطة الإنسانية المختلفة كالصناعة، وقطع الغابات أو إحراقها، وحرق الوقود العضوي ومشتقاته، إلى غير ذلك من الأعمال. سبب تسميتها المنطقة المضطربة هو أن الهواء فيها غير متجانس في حرارته وكثافته لذلك يبقى في حالة تغير دائم ومرد ذلك إلى العمليات التي تحدث بها وإلى التوزيع الحراري، ينتج عن هذا الاضطراب حدوث تيارات حمل هوائية من أسفل إلى أعلى، وهي المسؤولة عن تكوين الغيوم بأنواعها على ارتفاعات مختلفة.

يتوافق الجزء العلوي من طبقة التروبوسفير، المسمى التروبوبوز، مع المستوى الذي يتوقف فيه نمط انخفاض درجة الحرارة مع الارتفاع. يتم استبداله بطبقة متساوية الحرارة بشكل أساسي (درجة حرارة متساوية). في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية، يكون التروبوبوز مرتفعاً، وغالباً ما يصل إلى حوالي 18 كم، نتيجة الاختلاط الرأسي القوي للغلاف الجوي السفلي بواسطة العواصف الرعدية. في المناطق القطبية، حيث يكون هذا الاضطراب الجوي العميق أقل تواتراً، غالباً ما يكون التروبوبوز منخفضاً يصل إلى 8 كيلومترات. تتراوح درجات

الحرارة في التروبوبوز بين 80- درجة مئوية في المناطق المدارية و 50- درجة مئوية في المناطق القطبية.

تشكيل السحب والبرق في طبقة التروبوسفير

تُعرف المنطقة الواقعة فوق طبقة حدود الكوكب باسم (الغلاف الجوي الحر). الرياح في هذا الحجم لا تتأخر بشكل مباشر عن طريق الاحتكاك السطحي. تحدث الغيوم بشكل متكرر في هذا الجزء من طبقة التروبوسفير، على الرغم من أن الضباب والغيوم التي تصطدم أو تتطور فوق التضاريس المرتفعة غالباً ما تحدث عند مستويات منخفضة.

هناك نوعان أساسيان من السحب: السحب التراكمية والطبقية الشكل. يتطور كلا النوعين من السحب عندما يصعد الهواء الصافي، ويبرد بشكل ثابت أثناء تمدده حتى يبدأ الماء في التكثف أو يحدث الترسب. يخضع الماء لتغيير حالته من غاز إلى سائل في ظل هذه الظروف، لأن الهواء الأكثر برودة يمكن أن يحتوي بخار ماء أقل من الهواء الأكثر دفئاً. على سبيل المثال، يمكن أن يحتوي الهواء عند 20 درجة مئوية على ما يقرب من أربعة أضعاف كمية بخار الماء كما هو الحال عند 0 درجة مئوية قبل حدوث التشبع ويتكثف بخار الماء في قطرات سائلة.

تحدث السحب الطبقية عندما يتم دفع الهواء المشبع ميكانيكيّاً إلى الأعلى ويظل أبرد من الهواء الصافي المحيط عند نفس الارتفاع. في طبقة التروبوسفير السفلى، تسمى هذه السحب ستراتوس. الضباب الأفقي هو عبارة عن سحابة طبقية ذات قاعدتها تقع على سطح الأرض. في طبقة التروبوسفير الوسطى،

تُعرف السحب الطبقية باسم Altostratus. في طبقة التروبوسفير العُليا، يتم استخدام المصطلحات Cirrostratus و Cirrus. يشير نوع السحابة الرقيقة إلى سحب سمحاقية رقيقة، وهشَّة في كثير من الأحيان. تسمى السحب الطبقية التي تمتد عبر جزء كبير من طبقة التروبوسفير والترسبات Nimbostratus.

تحدث السحب التراكمية عندما يكون الهواء المشبع مضطرباً. تُظهر هذه الغيوم، بأشكالها ذات الأبراج الفقاعية، سلوكاً صغيراً صعوداً وهبوطاً للهواء في الطبقة الحدودية المضطربة للكواكب. غالباً ما تُرى مثل هذه السحب بقواعد عند قمة الطبقة الحدودية أو بالقُرّب منها حيث تصل الدوامات المضطربة المتولدة بالقُرّب من سطح الأرض إلى ارتفاع كافٍ لحدوث التكثيف.

الرعد والبرق والعاصفة

الرعد والبرق ظاهرتان جويتان متلازمتان. ظاهرة البرق هي إخراج الغيوم وتفريغها لشحناتها الكهربائية، مما ينتج عن ذلك توليد حرارة بدرجة مرتفعة تتسبب في رفع درجة حرارة الهواء وتسخينه لما يقرب من ثلاثين ألف درجة مئوية، والذي ينتج عنه تمدد الهواء الذي بدوره يقوم بإنتاج ما يُعرف بالموجات الصوتية المتمثلة في الرعد. تصطدم جزيئات المياه والبلَّورات الجليدية التي تتحرك بداخل السحب المرتبطة بالعواصف الرعدية للأعلى وللأسفل، مما يؤدي إلى فقدانها للإلكترونات والحصول عليها من بلَّورات أخرى. مما يؤدي إلى ارتفاع الشحنة الموجبة إلى أعلى السحابة، بينما تظل الشحنة السالبة متمركزة بأسفلها، ثم تقوم الشحنة السالبة بالتدفق باتجاه الكرة الأرضية، ليتكون فروق



الجهد الكهربي بينها وبين الكرة الأرضية. مما يتسبب ذلك في إطلاق الكرة الأرضية للشحنات الكهربائية معترضة طريقها قبل وصول الشحنة السالبة إلى الأرض، ويعمل هذا التيار على إحداث ما يُعرف بـ (الضربة المرتدة)، مما يؤدي إلى حدوث طاقة الضوء الساطع التي تُعرف باسم (البرق).

تُصاحب ظاهرة البرق موجة صوتية متكررة تُعرف بالرعد، وهو الناتج عن تعرض الهواء للتسخين بفعل البرد مما يؤدي إلى تمدده، ولذلك نلاحظ سماع صوت الرعد بعد رؤية البرق مباشرة. وفيما يتعلق بالأصوات المترددة لظاهرة الرعد فذلك بسبب وصول الموجات الصوتية الآتية من الأماكن البعيدة بشكل متأخر عن الواصلة من الأماكن القريبة. وهذا التأخير في الوقت هو ما تسبب في حدوث فرق في الزمن بين ظهور الشعاع الخاص بالبرق وحدوث الرعد وسماعه، وقدر العلماء الوقت الزمني الفارق بينهما لما يقرب من ثلاث ثواني لكل واحد كم. على الأرض أيضاً، هناك اختلافات في الشحنات الكهربائية. ومع ذلك، تسعى الطبيعة دائماً إلى موازنة هذه الاختلافات في الشحنات الكهربائية. هذا يعني أن الجسيمات المشحونة ستتدفق دائماً في الاتجاه الذي تقل فيه الجسيمات بنفس الشحنة. والنتيجة صاعقة البرق.

في البداية، هناك صاعقة غير مرئية لأعيننا. في الوقت نفسه، يتراكم فائض من الجزيئات موجبة الشحنة على الأرض. عندما يقترب الصاعقة غير المرئية من الأرض بدرجة كافية، يحدث تفريغ قوي للطاقة. قوي جدّاً، في الواقع، ينتج عنه قوس كهربائي. هذا هو الصاعقة التي نراها. أثناء حدوث ذلك، يتم تسخين الهواء المحيط إلى درجات حرارة قصوى. يتمدد وينفجر، وينتج صدعاً عالياً. هذا هو الرعد الذي نسمعه.



تأتي براغي البرق بعدة ألوان مختلفة. يعتمد اللون على الرطوبة الجوية ودرجة الحرارة ومستويات تلوث الهواء. اعتماداً على الظروف، قد يكون أحمر أو أزرق أو أصفر. صواعق البرق هي أهم الأشياء على وجه الأرض. فهي لا تقوم فقط بتسخين الهواء إلى درجات حرارة قصوى، بل تنقل أيضاً كميات هائلة من الطاقة. إنها تحمل طاقة تقاس بمئات المليارات من الواط. وهذا ما يجعل الصواعق شديدة الخطورة.

عموماً يحدث كلاهما في نفس الوقت أثناء عاصفة رعدية، ولكن نظراً لأن الضوء ينتقل أسرع من الصوت، يُرى البرق أولاً قبل أن يسمع المرء صوت الرعد. البرق سريع وساخن للغاية بينما يمكن أن يؤدي الرعد إلى هطول أمطار غزيرة ورياح قوية، ولكن البرق أكثر خطورة وتدميراً من الرعد. ويتشكل البرق عندما تصطدم جزيئات الماء والجليد بالهواء الدافئ الرطب وتكوّن طاقة ثابتة بينما يتكون الرعد من التمدد السريع للغازات في الشحنة الكهربائية للصاعقة

2. طبقة الستراتوسفير Stratosphere

تقع على بُعد ما يقرب من 12 إلى 50 كيلومتراً فوق سطح الأرض، وربما يُعرف الستراتوسفير بأنه موطن طبقة الأوزون على الأرض، التي تحمينا من أشعة الشمس فوق البنفسجية الضارة. بسبب تلك الأشعة فوق البنفسجية، فكلما ذهبت إلى أعلى طبقة الستراتوسفير، تصبح درجات الحرارة أكثر دفئاً. طبقة الستراتوسفير خالية تقريباً من السحب والطقس، لكن السحب الستراتوسفيرية القطبية توجد أحياناً في أدنى ارتفاعاتها وأكثرها برودة. إنه



أيضاً الجزء الأعلى من الغلاف الجوي الذي يمكن أن تصل إليه الطائرات النفاثة.

يغطي الستراتوبوز الجزء العلوي من الستراتوسفير، ويفصله عن الميزوسفير بالقُرْب من ارتفاع 45-50 كم وضغط 1 ملي بار. في الغلاف الجوي الأوسط، تنخفض درجات الحرارة مرة أخرى مع زيادة الارتفاع. على عكس الوضع في الستراتوسفير، لا يتم منع تيارات الهواء الرأسية في الغلاف الجوي بشدة. تتشكل السحب البلَّورية الجليدية، المسماة بالسحب الليلية، أحياناً في الطبقة الوسطى من الغلاف الجوي. فوق منطقة الميزوبوز، وهي منطقة تقع على ارتفاعات قريبة من 85 إلى 90 كيلو متراً، تزداد درجة الحرارة مرة أخرى مع الارتفاع في طبقة تسمى الغلاف الحراري.








طبقـــــــة الأوزون

تعرف طبقة الأوزون (Ozone Layer) وفقاً لوكالة ناسا على أنها طبقة مكونة من غاز عديم اللون، بالإضافة إلى أنه غاز نشط جدّاً كيميائيّاً، حيث يسهُل تفاعله مع الغازات القريبة منه والقادمة من سطح الأرض، مما يسبب إضعاف الأوزون وتلفه، وهذه الطبقة مُهمَّة بسبب قدرتها على امتصاص الإشعاعات الضارة الناتجة عن الشمس مثل الأشعة فوق البنفسجية التي تسبب الضرر للكائنات الحية. كما تم تعريف الأوزون من قِبل المركز الوطني لأبحاث الغلاف الجوي على أنه مجموعة من الجزيئات المترابطة التي تحمي الحياة على الأرض، وهي موجودة ضمن طبقة الستراتوسفير.

يتكون جزيء الأوزون من ثلاث ذرات أكسجين بدلاً من الذرات المعتادة (الأكسجين الذي نتنفسه، O_2، يشكل 21 % من الغلاف الجوي). إنه موجود فقط في الغلاف الجوي بكميات ضئيلة (أقل من 0.001 %)، لكن آثاره مُهمَّة جدّاً. يتم إنشاء جزيئات الأوزون من خلال تفاعل الأشعة فوق البنفسجية من الشمس مع جزيئات O_2: عندما ينقسم جزيء O_2، تترابط ذرتا الأكسجين الحران مع جزيئات O_2 الأخرى لتكوين جزيئات O_3. نظراً لأن الأشعة فوق البنفسجية تكون أكثر كثافة في الارتفاعات العالية حيث يكون الهواء أرق، فهي موجودة في طبقة الستراتوسفير حيث يتم إنتاج معظم الأوزون، مما يؤدي إلى ظهور ما يسمى «طبقة الأوزون». تمتد طبقة الأوزون، التي تحتوي على أكثر من 90 % من جميع الأوزون الجوي، على ارتفاع يتراوح بين 10 و 40 كم، وتبلغ ذروتها عند حوالي 25 كم. (فوق هذا المستوى، ينخفض تركيز الأكسجين المتاح لتحويله إلى أوزون، لذلك يتشكل أقل من الأوزون على الرغم من وفرة الأشعة فوق البنفسجية).

تعتبر طبقة الأوزون مُهمَّة جدّاً للحياة على الأرض لأنها تمتص أكثر أشكال الأشعة فوق البنفسجية ضرراً، وهي الأشعة فوق البنفسجية - باء التي يتراوح طولها الموجي بين 280 و 315 نانومتر. نظراً لأن الأوزون الموجود في الستراتوسفير يمتص الأشعة فوق البنفسجية، فإنه يسخن الهواء المحيط لإنتاج انعكاس درجة حرارة الستراتوسفير كما هو موضح في الرسم البياني التالي.

في الغلاف الجوي السفلي، تنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع بسبب الانخفاض الحاد في الضغط من مستوى سطح البحر إلى أعلى. يُشار إلى هذا على أنه تغير في درجة الحرارة ثابت الحرارة - يبرد الهواء ببساطة بسبب

التمدد مع الارتفاع (وعلى العكس من ذلك، يتم ضغط الهواء تحت ضغط أكبر وتسخينه). ولكن فوق طبقة التروبوسفير، حيث يكون الضغط الجوي جزءاً صغيراً من قيمة مستوى سطح البحر، يؤدي وجود الأوزون إلى ارتفاع درجة الحرارة مع الارتفاع حتى الوصول إلى ارتفاع طبقة الستراتوبوز. فوق طبقة الستراتوسفير، تنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع في الغلاف الجوي، لكنها ترتفع مرة أخرى في الغلاف الحراري بسبب تأثير الإشعاع والجسيمات المشحونة من الشمس في الغلاف الجوي الصغير المتبقي بالقُرْب من حدود الفضاء.

ثقب الأوزون

نشأ ثقب الأوزون لأن الناس قد لوثوا الغلاف الجوي بمواد كيميائية تحتوي على الكلور والبروم. المواد الكيميائية الأولية المعنية هي مركبات الكربون الكلورية فلورية والهالونات ورابع كلوريد الكربون. تم استخدام مركبات الكربون الكلورية فلورية على وجه الخصوص في مجموعة واسعة من التطبيقات، بما في ذلك التبريد وتكييف الهواء وتعبئة الرغوة وصنع علب رش البخاخات. نظراً لأن هذه المواد الكيميائية خاملة جدّاً، فإنها قادرة على البقاء في الغلاف الجوي لفترة كافية ليتم نقلها إلى أعلى إلى طبقة الستراتوسفير حيث يمكنها إتلاف طبقة الأوزون.

يكون نضوب طبقة الأوزون أعظم ما يكون في القطب الجنوبي. يحدث بشكل رئيسي في أواخر الشتاء وأوائل الربيع (أغسطس - نوفمبر) ويحدث النضوب الذروة عادةً في أوائل أكتوبر، عندما غالباً ما يتم تدمير الأوزون تماماً في مناطق واسعة.

هـذا النضـوب الشـديد يخلق مـا يسـمى بـ «ثقـب الأوزون» الـذي يمكـن رؤيتـه في صـور الأوزون في القطـب الجنوبـي، التـي يتـم إجراؤهـا باسـتخدام ملاحظـات الأقمـار الصناعيـة. في معظـم السـنوات، تكـون المسـاحة القصـوى للحفـرة أكبـر مـن القـارة القطبيـة الجنوبيـة نفسـها. علـى الرغـم مـن أن خسـائر الأوزون أقـل جذريـة في نصـف الكـرة الشـمالي، فقـد لوحـظ أيضـاً ترقـق كبيـر في طبقـة الأوزون فـوق القطـب الشـمالي وحتـى فـوق القـارة الأوروبيـة.

في دراسـة حديثـة أجريـت في عـام 2015 م صـادرة عـن وكالـة حمايـة البيئـة تبـيّن فيهـا أن ثقـب طبقـة الأوزون سـيؤثر في الحيـاة بشـكل كامـل علـى سـطح الأرض، سـواء أكانـت متعلقـة بالنظـام البيئـي مثـل درجـات الحـرارة ومعـدلات الهطـول أم بالكائنـات الحيـة إذ أن ثقـب الأوزون سيتسـبب في دخـول الإشـعاعات الضـارة إلـى الكائنـات الحيـة المختلفـة لتؤثـر في وجودهـا وتسـبب لهـا الأمـراض المختلفـة كذلـك.

أهـــم فوائد طبقـــة الأوزون

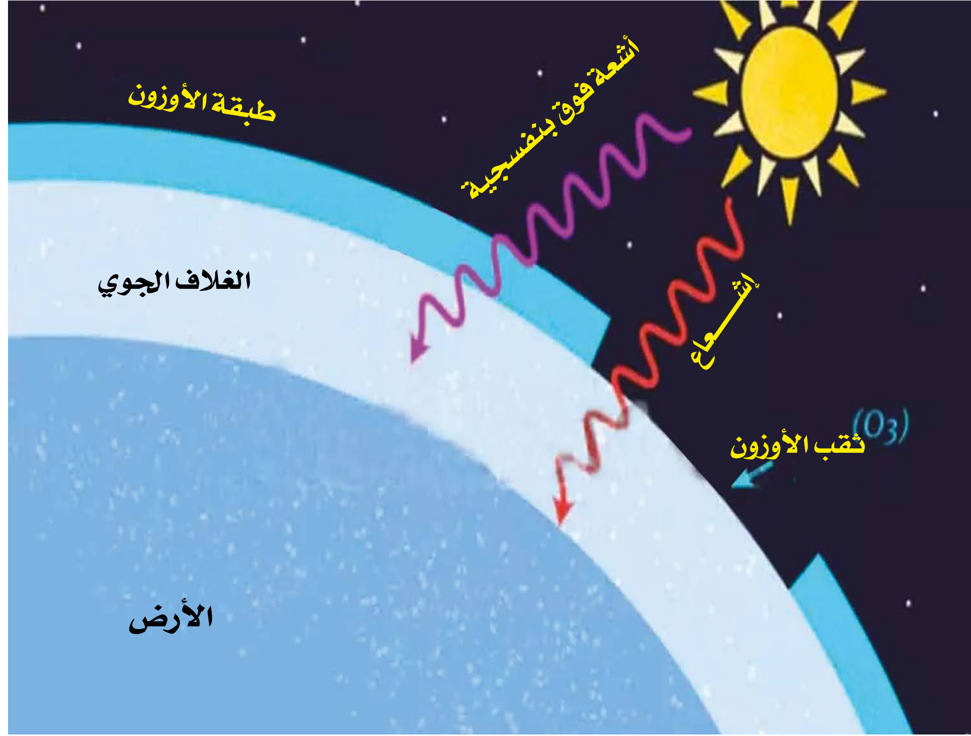
- **حمايـة الأرض مـن الأشـعة فـوق البنفسـجية:** تمتـص طبقـة الأوزون الإشـعاعات الضـارة الناتجـة عـن الشـمس، التـي يتـراوح طولهـا الموجـي بـين 280 إلـى 320 نانومتـر وهـي أشـعة ضـارة.
- **حمايـة الإنسـان مـن الأمـراض الجلديـة:** تـؤدي إشـعاعات الشـمس الضـارة إلـى إتـلاف الحمـض النـووي الموجـود في الجلـد وتكويـن سـرطانات الجلـد.
- **حمايـة المحاصيـل:** تـؤدي الإشـعاعات ذات الطـول الموجـي القصيـر إلـى تدميـر المحاصيـل الزراعيـة ممـا يؤثـر في الغطـاء النباتـي الموجـود علـى سـطح الأرض.

- **الحفاظ على التوازن البيئي:** تؤدي الإشعاعات السليمة التي لا تحتوي على الأشعة فوق البنفسجية أو أي من الإشعاعات الضارة إلى نمو النبات بشكل سليم وطبيعي، مما ينعكس بالأثر الإيجابي على الحيوانات العاشبة والدورات الجيوكيميائية الحيوية.

- **حماية الكائنات البحرية:** تتأثر الكائنات البحرية بالإشعاعات الضارة، بحيث إن هذه الإشعاعات تؤثر في معدل القدرة الإنجابية لها وتقليل نمو اليرقات في الكائنات البحرية الصغيرة، مما يؤثر في السلسلة الغذائية البحرية بأكملها.

- **حماية الموارد المائية:** يمكن أن تؤثر الإشعاعات الضارة في تغيير تركيز الغازات في الغلاف الجوي، مما يؤدي إلى تغير في معدلات الهطول، وتقوم طبقة الأوزون بحماية الأرض من هذه الغازات والحفاظ على معدل الهطول في الأماكن الجغرافية المختلفة من الأرض.

- **حماية الأرض من ظاهرة الدفيئة:** تقوم طبقة الأوزون بالحفاظ على تركيز الغازات السليم في الغلاف الجوي عن طريق امتصاص الإشعاعات الضارة قبل أن تتفاعل مع الغازات الأخرى وتؤثر في حرارة الأرض.



3. طبقة الميزوسفير Mesosphere

تقع ما بين 50 و 80 كيلومتراً فوق سطح الأرض، يصبح الغلاف الجوي أكثر برودة تدريجيّاً مع الارتفاع. في الواقع، الجزء العلوي من هذه الطبقة هو أبرد مكان موجود داخل نظام الأرض، بمتوسط درجة حرارة حوالي 85 درجة مئوية تحت الصفر. يشكل بخار الماء النادر جدّاً الموجود في الجزء العلوي من الغلاف الجوي غيوماً ليلية، وهي أعلى غيوم في الغلاف الجوي للأرض، التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة في ظل ظروف معينة وفي أوقات معينة من اليوم. تحترق معظم الشهب والنيازك في هذه الطبقة الجوية. يمكن لصواريخ السبر والطائرات التي تعمل بالطاقة الصاروخية الوصول إلى الغلاف الجوي.



4. طبقة الثيرموسفير Thermosphere

وهو الطبقة الرابعة من طبقات الغلاف الجوي، واسمها مُشّتَق من الكلمة الإغريقيّة (Thermo) والتي تعني حار، وذلك دلالة على شدّة الحرارة فيها، تتراوح درجات الحرارة في الغلاف الحراري من حوالي 227 درجة مئوية، خلال فترات انخفاض نشاط البقع الشمسية إلى 1.725 درجة مئوية، عندما تكون الشمس نشطة. يحدث انقطاع الحرارة، الذي يُعرّف بأنه مستوى الانتقال إلى ملف تعريف درجة حرارة متساوي إلى حد ما في الجزء العلوي من الغلاف الحراري، على ارتفاعات تبلغ حوالي 250 كيلومتراً خلال فترات الشمس الهادئة وحوالي 500 كيلومتر عندما تكون الشمس نشط. فوق 500 كيلومتر، تكون الاصطدامات الجزيئية نادرة بما يكفي لدرجة يصعب معها تحديد درجة الحرارة.

يسمى الجزء من الغلاف الحراري حيث توجد الجسيمات المشحونة (الأيونات) بكثرة بالأيونوسفير. تنتج هذه الأيونات عن إزالة الإلكترونات من غازات الغلاف الجوي عن طريق الأشعة فوق البنفسجية الشمسية. يمتد الغلاف الجوي المتأين من ارتفاع 80 إلى 300 كيلومتر (حوالي 50 إلى 185 ميلاً)، وهو عبارة عن منطقة موصلة كهربائيّاً قادرة على عكس إشارات الراديو إلى الأرض.

يبلغ سُمكها فوق حد طبقة الميزوسفير من 420 كم إلى 670 كم، ويبلغ ارتفاعها فوق سطح البحر إلى ما يقارب 500 كم عندما تكون الشمس نشيطة، وما يقارب 1000 كم عندما تكون الشمس هادئة، وهي أقرب إلى الفضاء الخارجي من قُرْبها من الغلاف الجوي، وتبدأ من نهاية حد الميزوبوز وتستمر إلى الفضاء الخارجي في هذه الطبقة، تزداد درجات الحرارة مع الارتفاع بسبب الكثافة المنخفضة جدّاً للجزيئات الموجودة هنا. إنها خالية من السحاب وبخار

الماء. يُرى الشفق القطبي والشفق الأسترالي أحياناً هنا. تدور محطة الفضاء الدولية في الغلاف الحراري.

عندما ترتطم أشعة الشمس بطبقة الثيرموسفير، فهذا يسبِّب شحن الجزيئات والذرات بالكهرباء أي ما يسمى بعمليّة التأين، ويُطلق على هذه الذرات المشحونة بالكهرباء اسم أيونات، وتتواجد معظم هذه الأيونات في الأجزاء السفليّة من طبقة الثيروموسفير، لهذا يطلق اسم الغلاف الأيوني (الأيونوسفير) على هذه الأجزاء.

Ionosphere وهي الطبقة التي تأتي بعد طبقة الميزوسفير بارتفاع يقارب 80 كم ويمكن أن يصل إلى 125 كم أو أكثر، ويعود سبب تسميتها إلى اصطدام الأشعة المنبعثة من الشمس ذات الطاقة العالية بالذرّات والجزيّئات المكوّنة لها، ما ينتج عن هذا الاصطدام انفصال الإلكترونات، وتسريبها، وشحنها بالطاقة الكهربائية، وهذا ما يكون سبباً في منحها عدة مميّزات خاصة بها عن باقي طبقات الغلاف الجوي.

فوق ما يقرب من 500 كم، تكون حركة الأيونات مقيدة بشدة بوجود المجال المغناطيسي للأرض. هذه المنطقة من الغلاف الجوي للأرض، التي تسمى الغلاف المغناطيسي، تنضغط بفعل الرياح الشمسية على جانب ضوء النهار من الكوكب وتمتد إلى الخارج في ذيل طويل على الجانب الليلي. ترتبط العروض الشفقية الملونة التي غالباً ما تُرى في خطوط العرض القطبية بدفعات من الجسيمات عالية الطاقة التي تولدها الشمس. عندما تتأثر هذه الجسيمات بالغلاف المغناطيسي، يتم حقن بعضها لاحقاً في طبقة الأيونوسفير السفلى.



5. طبقة الإكسوسفير Exosphere

يشار إلى الطبقة التي يزيد ارتفاعها على 500 كيلومتر على الغلاف الخارجي Exosphere، وهي منطقة لا يتصادم فيها نصف الجزيئات التي تتحرك صاعداً على الأقل مع بعضها البعض. في المقابل، تتبع هذه الجزيئات مسارات باليستية طويلة وقد تخرج من الغلاف الجوي تماماً إذا كانت سرعات هروبها عالية بدرجة كافية. يعد معدل فقدان الجزيئات عبر الغلاف الخارجي أمراً بالغَ الأهمية في تحديد ما إذا كانت الأرض أو أي جسم كوكبي آخر يحتفظ بالغلاف الجوي.

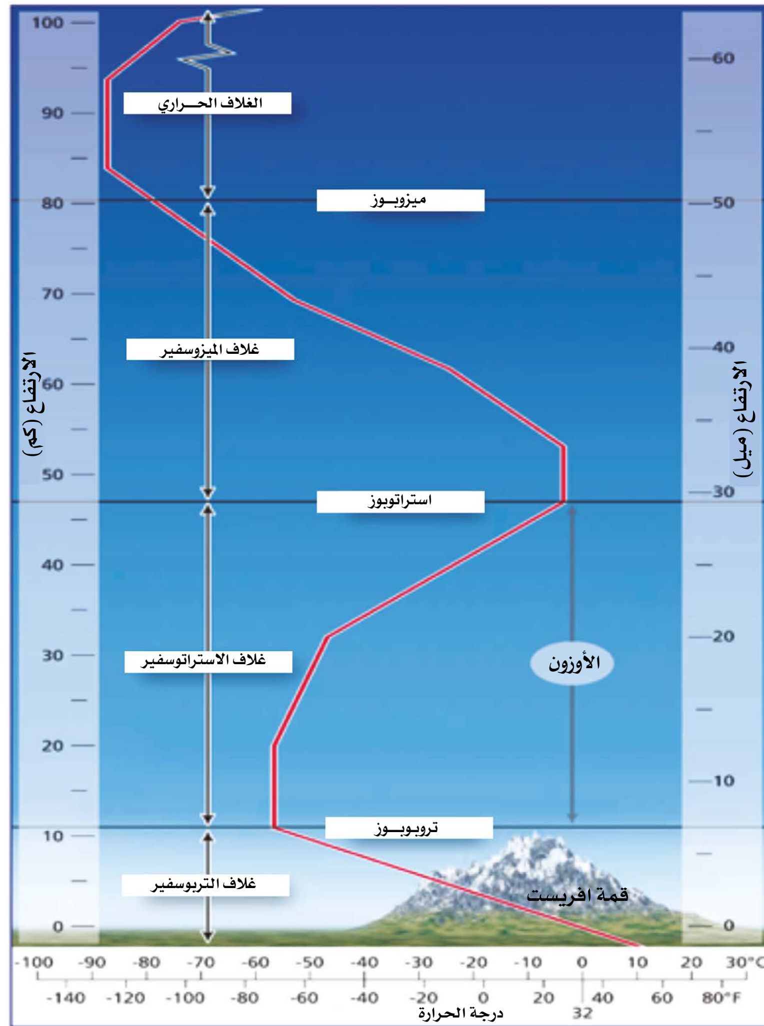
يقع الغلاف الخارجي على ارتفاع ما بين 700 و 10000 كيلومتر فوق سطح الأرض، وهو أعلى طبقة من الغلاف الجوي للأرض، وفي قمته يندمج مع الرياح الشمسية. الجزيئات الموجودة هنا ذات كثافة منخفضة جدّاً، لذلك لا تتصرف هذه الطبقة مثل الغاز، والجسيمات هنا تهرب إلى الفضاء. مع عدم وجود طقس على الإطلاق في الغلاف الخارجي.

تعد هذه الطبقة الأقرب إلى الفضاء الخارجي، وتوجد في نطاقها الأقمار الصناعية، وتحدث فيها عملية امتصاص الأشعة السينية ذات الطاقة العالية والأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من الشمس، الأمر الذي يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة في هذه الطبقة، وتصل درجات الحرارة فيها بين °500 - °2000 درجة مئوية، كما تحدث فيها ظاهرة الشفق القطبي الذي يظهر في القطبين الشمالي والجنوبي.

6. حافة الفضاء الخارجي The Edge of Outer Space

على الرغم من عدم وجود حدود واضحة بين المكان الذي ينتهي فيه الغلاف الجوي للأرض ويبدأ الفضاء الخارجي، يستخدم معظم العلماء ترسيماً يعرف باسم (خط كارمان)، يقع على بُعْد 100 كيلومتر فوق سطح الأرض، للإشارة إلى نقطة الانتقال، ما يقرب 99.99997 % من الغلاف الجوي للأرض. تقع تحت هذه النقطة. تشير دراسة أجريت في فبراير 2019 باستخدام بيانات من المركبة الفضائية التابعة لناسا / وكالة الفضاء الأوروبية للمرصد الشمسي والهيليوسفير (SOHO) إلى أن أبعد مناطق الغلاف الجوي للأرض - سحابة من ذرات الهيدروجين تسمى Geocorona قد تمتد في الواقع إلى ما يقرب من (629300) كيلومترات في الفضاء، بعيداً عن مدار القمر. (Allaby, 2009).





يتكون الغلاف الجوي من طبقات مميزة يجري تحديدها بشكل أساسي من خلال الطريقة التي تتغير بها درجة الحرارة مع الارتفاع داخلها (Allaby, 2009)

الغـــــلاف الحيـــــوي Biosphere

الغـلاف الحيـوي عبـارة عـن طبقـة رقيقـة نسـبيّاً مـن سـطح الأرض تدعـم الحيـاة، وهـو الحيّـز أو المكان أو الوسـط الـذي تعيش فيه الكائنـات الحيّة، ويمتدّ مـن أكبـر عمـق في البحـار والمحيطـات ويُقـدّر بـ13كـم، ويصـل إلـى أعلـى ارتفـاع فـوق الجبـال، ويُقـدّر بـ11كـم. المحيـط الحيـوي هـو نظـام بيئـي عالمـي يتكـون مـن الكائنـات الحيـة (الكائنـات الحيـة) والعوامـل غيـر الحيـة (اللاأحيائيـة) التـي تزودهـم بالطاقـة والمغذيـات. المحيـط الحيـوي هـو منطقـة ضيقـة علـى سـطح الأرض حيـث تتحـد التربـة والمـاء والهـواء للحفـاظ علـى الحيـاة. يمكـن أن تحـدث الحيـاة فقـط في هـذه المنطقـة. مـن الفطريـات والبكتيريـا إلـى الحيوانـات الكبيـرة، هنـاك عـدة أنـواع مختلفـة مـن الحيـاة. يتميـز المحيـط الحيـوي بأنـه منطقـة تحتـوي علـى جميـع الكائنـات الحيـة ومنتجـات أنشـطتها. نتيجـة لذلـك، يلعـب دوراً مُهمّـاً في الحفـاظ علـى النظـم البيئيـة، أي وجـود الأنـواع وتفاعلاتهـا المتبادلـة. والغـلاف الحيـوي أمـر بالـغ الأهميـة لتنظيـم المنـاخ.

أهميـــــة المحيـــــط الحيـــــوي

يوفـر المحيـط الحيـوي النظـام البيئـي المطلـوب للبقـاء علـى قيـد الحيـاة. مـن المتوقـع أن تتكيـف الكائنـات الحيـة مـع منـاخ المحيـط الحيـوي. يزدهـر التنـوع البيولوجـي داخـل النظـم البيئيـة، ويعتبـر المحيـط الحيـوي مصـدراً موثوقـاً للغـذاء علـى الأرض. تُعـرف المنـاطق الآمنـة لحمايـة النباتـات والحيوانـات باسـم (محميـات المحيـط الحيـوي). كمـا أنـه يسـاعد علـى اسـتعادة أسـلوب الحيـاة التقليـدي للقبائـل في المنطقـة. المحيـط الحيـوي هـو أعلـى مسـتوى للمنظمـة البيئيـة. يغطـي جميـع أنـواع الحيـاة بالإضافـة إلـى أي منطقـة حيويـة علـى الأرض.



يعمل المحيط الحيوي كنظام دعم الحياة للكوكب، ويساعد في التحكم في تكوين الغلاف الجوي، وصحة التربة، والدورة الهيدرولوجية (المياه). مؤشر على مساهمة المنطقة الأحيائية في الأرض. يتميز المحيط الحيوي بأنه بيئة تحتوي على جميع الكائنات الحية ومنتجات أنشطتها. ونتيجة لذلك، تلعب دوراً حيويّاً في الحفاظ على النظم البيئية، أي حياة الأنواع وتفاعلاتها المتبادلة. والغلاف الحيوي أمر بالغ الأهمية لتنظيم المناخ. تتأثر أي من غازات الدفيئة الرئيسية، مثل الميثان وثاني أكسيد الكربون وأكسيد النيتروز، بالمحيط الحيوي. هناك حاجة لظروف بيئية مختلفة، مثل درجة الحرارة والرطوبة الملائمة، للكائنات الحية لتعيش على الأرض. الطاقة والعناصر الغذائية مطلوبة أيضاً للأنواع. يحتوي المحيط الحيوي للأرض على جميع العناصر الغذائية المعدنية والحيوانية اللازمة للحياة.



عناصر الغلاف الحيوي

أصل وتطور المحيط الحيوي

منذ حوالي 3.8 مليار سنة، ازدهرت بدائيات النوى المبكرة في محيط حيوي بدون أكسجين. في النهاية، تطورت بعض هذه الكائنات إلى كائنات قادرة على استخدام الضوء والماء وثاني أكسيد الكربون لإنشاء مركبات غنية بالطاقة الكيميائية مع إنتاج جزيئات الأكسجين كمنتج ثانوي. يشار الآن إلى عملية تصنيع طعامهم باستخدام الطاقة الضوئية على أنها عملية التمثيل الضوئي، وتسمى الكائنات الحية القادرة على ذلك بالتغذية الذاتية. وهكذا من أحادية الخلية، على سبيل المثال الطحالب، إلى ذاتية التغذية متعددة الخلايا، مثل النباتات الوعائية، كان المزيد من الكائنات الحية قادرة على استخدام ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وفي النهاية زود الغلاف الجوي بالأكسجين.

سرعان ما أدت زيادة كمية الأكسجين في الغلاف الجوي إلى زيادة التنوع البيولوجي مع وجود الكائنات الهوائية وتطورها. يسمح هذا للمحيط الحيوي بالحفاظ على حياة أكثر تعقيداً مثل النباتات الوعائية والحيوانات والبشر للبقاء على قيد الحياة في وجود الأكسجين.

يعمل Autotrophs كمنتجي السلسلة الغذائية. الكائنات غيرية التغذية، وهي كائنات غير قادرة على إنتاج الغذاء بنفس الطريقة التي يمكن بها ذاتية التغذية، وبالتالي يتعين عليها أن تستهلك كائنات أخرى، تأخذ دور الضوابط البيولوجية الطبيعية. يشار إلى الكائنات غيرية التغذية التي تتغذى فقط على النباتات بالحيوانات العاشبة. وتسمى تلك التي تتغذى فقط على لحوم الحيوانات آكلة اللحوم بينما تسمى تلك التي تتغذى على لحوم النباتات أو الحيوانات آكلات اللحوم. مكانة بيئية مُهمَّة أخرى هي المتحللات. تتحلل هذه الكائنات الحية

الميتة أو تتحلل الأنسجة أو تحول المواد العضوية إلى مركبات أبسط أو مواد تغذي الأرض. على سبيل المثال، تحلل الفطريات المواد النباتية أو الحيوانية الميتة. إنهم يقسمون خلايا النباتات والحيوانات الميتة إلى مواد أبسط، التي تصبح مغذيات عضوية متاحة للنظام البيئي.

مكوّنات الغلاف الحيوي

المكوّنات الحيّة: يدخل في تصنيف المكونات الحية الكائناتِ الحيةَ التي تعيش ضمن الغلاف الحيوي جميعها، وتختلف هذه الكائنات في أحجامها، وأشكالها، والبيئة التي تعيش فيها، ولكنّها تشترك في مظاهر الحياة، مثل: الحركة، والتغذية، والنمو، والتنفس، وطرح الفضلات، والتكاثر، وغيرها، ومن أبرز هذه المكونات: الإنسان، والنباتات، والحيوانات بأنواعها المختلفة، والكائنات الحيّة الأولية، مثل: الطحالب، والبكتيريا، والفطريّات.

المكوّنات غير الحية: وتشمل ثلاثة عناصر وهي الغلاف المائي، والصخري و الجوي. الغلاف الجوي يشمل جميع أنواع الغازات والبخار الموجود في الهواء ومن أهم الغازات التي يتضمنها الغلاف الجوي الأكسجين، النيتروجين، ثاني أكسيد الكربون.

الغلاف المائي تحتل مياه المحيطات والأنهار والبحيرات جزء كبير في هذا الغلاف المائي ومناطق المياه الجوفية، وتكون نسبتها 1.5 بليون كم^3، وتبلغ نسبة المياه المالحة في الموارد المائية السابقة حوالي 95:97 %. وجدت النسبة الأكبر من المياه في المحيط الحيوي من المحيطات، وتحتوي مياه المحيطات على نسبة مرتفعة من الأملاح، بالإضافة إلى احتوائها على غازات ذائبة، ومن تلك الغازات الأكسجين وثاني أكسيد الكربون.

الغلاف الصخري حيث تعبر اليابسة عن المناطق والأجزاء الصلبة الموجودة في الطبيعة، كما أن الأتربة والمعادن أيضاً من العناصر غير الحية التي يتكون منها الغلاف الحيوي.

الهيكل التنظيمي للمحيط الحيوي

يتم وصف المحيط الحيوي بشكل أساسي من خلال مرجع الحياة الكاملة والكائنات الحية حول الأرض. يتكون من خمسة مستويات للهيكل التنظيمي:

1. المناطق الأحيائية

ينقسم المحيط الحيوي الكبير إلى أجزاء كبيرة من المناطق الأحيائية. صنف العلماء المناطق الأحيائية إلى خمسة أنواع مختلفة: التندرا، والأراضي العشبية، والغابات، والصحاري، والمناطق الأحيائية المائية. يسكن الأنهار والبحيرات والبحار والمحيطات والموائل المائية الأخرى مجموعة كبيرة ومتنوعة من النباتات والحيوانات. على العكس من ذلك، فإن الحلويات هي المناطق الأكثر جفافاً على وجه الأرض مع أدنى قياس للأمطار سنويّاً. تغطي الأراضي العشبية المساحات الخضراء من الأرض. ومع ذلك، فإنها تعاني من هطول أمطار معتدلة ولكنها ليست كافية لزراعة الأشجار الكبيرة. الغابات هي مناطق تهيمن عليها الأشجار الكبيرة. التندرا هي منطقة القطب الشمالي الشاسعة الخالية من الأشجار حيث تتجمد باطن الأرض بشكل دائم.



2. النظام البيئي

يتكون النظام البيئي من مجتمع بيولوجي ومن البيئة المادية. ولذا فهو يشمل كلّاً من العوامل الحيوية وغير الحيوية. تعمل الكائنات الحية وبيئتها المادية معاً كوحدة واحدة. أربعة أنواع من النظم البيئية هي الأرضية، والمياه العذبة، والبحرية، والاصطناعية. النظام البيئي الأرضي هو النظام البيئي الذي يحدث على الأرض ويمثله النظام البيئي للأراضي العشبية والنظام البيئي للغابات. النظام البيئي للمياه العذبة هو نظام بيئي مائي ويتجلى في النظم البيئية Lentic و Lotic. النظام البيئي البحري هو نظام إيكولوجي للمياه المالحة، وبالتالي يوجد في البحار والمحيطات. النظام البيئي الاصطناعي هو نظام من صنع الإنسان، مثل Terrarium.

3. مجتمع الأنواع

نظراً لأن المحيط الحيوي يظهر تنوعاً واسعاً، فإن الأنواع المختلفة تبني المجتمع. تعيش هذه الأنواع في المناطق التي تكون فيها العوامل غير الحيوية، مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة والمغذيات مقبولة أو مثالية. ومع ذلك، يتم تعريف المجتمع البيولوجي على أنه تجمع الكائنات الحية المتفاعلة (إما من نفس النوع إما الأنواع المختلفة) التي تتعايش في منطقة ووقت معينين.

4. السكان

يُعرف جميع أعضاء الأنواع المعينة التي تعيش في موطن واحد بالسكان. يمكن أن يختلف حجم السكان من بضعة إلى آلاف من الأعضاء. الزيادة السكانية هي حالة يتجاوز فيها عدد الأنواع القدرة الاستيعابية لمكان إيكولوجي. على العكس

من ذلك، فإن الانخفاض السكاني هو انخفاض في الحجم. يشار إلى تقليص حجم السكان لفترة قصيرة من الزمن باسم (عنق الزجاجة السكاني).

قد تؤدي الزيادة في حجم السكان إلى صراع من أجل البقاء. سوف تتنافس الأنواع ضد الجميع على موارد محدودة. وهكذا، تم إنشاء علاقات تكافلية مختلفة. يقال إن أولئك الذين يميلون إلى الأخذ والعطاء في علاقة ما يكونون في علاقة متبادلة، في حين أن أولئك الذين يميلون إلى التسبب في ضرر أو إلحاق الضرر بالكائنات الأخرى قد يكونون في نوع طفيلي أو مفترس من التعايش. هذا هو المكان الذي يأتي فيه الانتقاء الطبيعي. يتم «تفضيل» الأنواع التي لها اختلافات مفيدة أو مفيدة، وبالتالي فهي قادرة على الازدهار والتكاثر على تلك التي لها سمات أقل تفضيلاً.

5. الكائنات الحية

الكائنات الحية هي الكائنات الحية للمحيط الحيوي. إحدى الميزات التي جعلتها متميزة عن المواد غير الحية هي امتلاكها تنظيماً خلويّاً ونظاماً يتيح العديد من عمليات الحياة. يوجد داخل الخلية مادة وراثية تحمل الرمز لجميع الأنشطة البيولوجية والتكاثر.. يمكن أن تكون حقيقيات النوى وبدائيات النوى. على سبيل المثال، البشر والنباتات والحيوانات حقيقيات النوى، والبكتيريا هي بدائيات النوى. يمكن التعرف عليها من خلال وجود نظام غشاء داخلي وتقسيم داخلي يؤدي إلى تكوين عضيات مختلفة. تمتلك حقيقيات النوى مثل هذه الميزات في حين أن بدائيات النوى لا تمتلكها.

العوامـــــل المؤثـــرة في المحيـــط الحيـــوي

يتغير المحيط الحيوي حول الأرض دائماً بفعل الكائنات الحية وغير الحية. هناك عوامل مختلفة تؤثر في المحيط الحيوي وأنشطة الكائنات الحية التي يغطيها النظام البيئي. تؤثر العوامل الثلاثة التالية في المحيط الحيوي بطرق مختلفة:

إمالـــــــة الأرض. يؤثر ميل الأرض إلى حد كبير في المحيط الحيوي. حيث أنه يجعل جانباً واحداً من الأرض أكثر برودة لبعض الوقت بينما يظل الجانب الآخر أكثر دفئاً لفترة. الفصول هي أحد العوامل الفيزيائية التي تحدد أنواع الأنواع التي ستزدهر في منطقة معينة.

الكوارث الطبيعية. يمكن أن تترك الكوارث الطبيعية تأثيراً هائلاً وطويلَ الأمد في المحيط الحيوي. مثل هذه الكوارث، مثل: ثوران البراكين والزلازل والفيضانات وما إلى ذلك، تدمر المحيط الحيوي. الصخور والماء والحمم البركانية والأشياء الأخرى المحتملة تدمر النظام البيئي.

بعض العوامل الأصغر. العوامل الأخرى الأصغر، مثل: تغير المناخ أو الماء أو تآكل التربة أو أي نوع آخر من التغيير، تؤثر في المحيط الحيوي وتزعج حياة الأنواع المختلفة.

أهميـــــة المحيـــط الحيـــوي

المحيط الحيوي هو الرابط بين الحياة الصحية للكائنات الحية وتفاعلاتها. يمكن أن يتسبب التغيير الطفيف في المحيط الحيوي في إحداث تأثير كبير في

حياة الكائنات الحية. ومع ذلك، فإن هذا الارتباط يجعل المحيط الحيوي مُهمّاً لكل كائن حي. بعضها مذكور أدناه:

تعزيز الحياة على الأرض. السبب الرئيسي للمحيط الحيوي وأهميته هو أنه يعزز الحياة على الأرض. للتكيف مع التغيرات البيئية المختلفة، والظروف المناخية المواتية، ومصدر الطاقة كغذاء، فإن جميع الكائنات الحية على الأرض تدعم الحياة على سطح الأرض:

المواد العضوية: يساعد المحيط الحيوي في إعادة تدوير العناصر الغذائية، مثل الأكسجين والنيتروجين، للحفاظ على الحياة على الأرض.

توفير الغذاء أو المواد الخام. كل كائن حي يحتاج إلى الغذاء ليبقى على قيد الحياة؛ وبالتالي، يلعب المحيط الحيوي دوراً مُهمّاً في توفير الغذاء للحيوانات والنباتات المختلفة.

دورات الغلاف الحيوي

دورة المياه. عندما تسقط أشعة الشمس في الأماكن الموجود فيها ماء فإنها تجعله يتبخر ليصعد إلى الغلاف الجوي، وهذه العملية هي التي تتكون السحب بفضلها.

دورة الأكسجين. تعمل الدورة على نقل نسب الأكسجين بين الأغلفة الثلاثة الحيوي والجوي والصخري، حيث يحتوي الغلاف الحيوي على كمية كبيرة من الأكسجين الحر الذي ينتج عن عملية البناء الضوئي، أما الغلاف الجوي فيُعد هو المصدر الأصغر للأكسجين.



دورة النيتروجين. تبلغ نسبة النيتروجين حوالي 78 % من الهواء الموجود في الطبيعة، وهذه الدورة يكون لها أثر كبير في إنتاج البروتينات والأحماض الأمينية، يعمل كل من البرق والبكتيريا على تحليل النيتروجين إلى بعض المركبات السهلة في الامتصاص من قِبل النباتات، ومن ثم تدخل إلى جزيئات عضوية. كما أن الحيوانات عندما تأكل النباتات تحصل على النيتروجين المغذي لجسدها، وبعد موتها يتم إنتاج بعض العناصر الكيمائية التي يتم إعادتها إلى التربة والغلاف الجوي.



الغـــــــلاف المائـــــــي Hydrosphere

الغـلاف المائـي، طبقـة غيـر متصلـة مـن المـاء علـى سـطح الأرض أو بالقُـرْب منـه. وتشـمل جميـع الميـاه السـطحية السـائلة والمجمـدة، والميـاه الجوفيـة الموجـودة في التربـة والصخـور، وبخـار المـاء الجـوي. المـاء هـو المـادة الأكثـر وفـرة علـى سـطح الأرض. حوالـي 1.4 مليـار كيلومتـر مكعـب مـن المـاء في صـورة سـائلة ومجمدة تشـكل المحيطـات والبحيـرات والجـداول والأنهـار الجليديـة والميـاه الجوفيـة الموجودة هناك. هـذا الحـجـم الهائـل مـن المـاء، في مظاهـره المختلفـة، هـو الـذي يشـكل الطبقـة غيـر المتصلـة، التـي تحيـط بالكثيـر مـن سـطح الأرض، والمعـروف باسـم (الغـلاف المائـي).

الغـلاف الجليـدي Cryosphere هـو المـاء المتجمـد علـى الأرض بمـا في ذلـك الأنهـار الجليديـة والجليـد البحـري والثلـج وجليـد الميـاه العذبـة والأرض المتجمـدة (التربـة الصقيعيـة).

يعتبـر مفهـوم دورة الميـاه أو (الـدورة الهيـدرولوجيـة) محوريـاً في أي نقـاش حـول الغـلاف المائـي. تتكـون هـذه الـدورة مـن مجموعـة مـن الخزانـات التـي تحتـوي علـى الميـاه، والعمليـات التـي يتـم مـن خلالهـا نقـل الميـاه مـن خـزان إلـى آخـر أو (تحـويلـهـا مـن حالـة إلـى أخـرى)، ومعـدلات النقـل المرتبطـة بهـذه العمليـات. تختـرق مسـارات النقـل هـذه الغـلاف المائـي بأكملـه، وتمتـد صعـوداً إلـى حوالـي 15 كيلومتـراً في الغـلاف الجـوي لـلأرض وتنخفـض إلـى أعمـاق تصـل إلـى 5 كيلومتـرات في قشـرتها.





عناصر الغلاف المائي

توزيـــع وكمية ميـــاه الأرض

تشكل مياه المحيطات والمياه المحاصرة في مساحات مسام الرواسب معظم الغلاف المائي الحالي. تساوي الكتلة الإجمالية للمياه في المحيطات حوالي 50 % من كتلة الصخور الرسوبية الموجودة حالياً وحوالي 5 % من كتلة القشرة الأرضية ككل. تشكل المياه الجوفية العميقة والضحلة نسبة صغيرة من إجمالي المياه المغلقة في مســام الصخور الرسوبية - في حدود 3 إلى 15 %. كمية الماء في الغلاف الجوي في أي وقت تافهـــة، أي ما يعـــادل 13000 كيلومتر مكعب من الماء السائل، أو حوالـــي 0.001 % من الإجمالي على سطح الأرض. ومع ذلك، تلعب هذه المياه دوراً مُهمّاً في دورة المياه.

في الوقت الحاضر، يحبس الجليد ما يزيد قليلاً على 2 % من مياه الأرض، وربما يمثل ما يصل إلى 3 % أو أكثر خلال ذروة التجمعات الجليدية في عصر البليستوسين (2.6 مليون إلى 11700 سنة مضت). على الرغم من أن تخزين المياه في الأنهار والبحيرات والغلاف الجوي صغير، فإن معدل دوران المياه عبر نظام نهر المطر والمحيط والغلاف الجوي سريع نسبيّاً. كمية المياه التي يتم تصريفها سنويّاً في المحيطات من الأرض تساوي تقريباً إجمالي كتلة المياه المخزنة في أي لحظة في الأنهار والبحيرات.

تمثل رطوبة التربة 0.005 % فقط من الماء على سطح الأرض. ومع ذلك، فإن هذه الكمية الصغيرة من الماء هي التي تؤثر بشكل مباشر في التبخر من التربة. على الرغم من أن المحيط الحيوي، على الرغم من تكوينه بشكل أساسي H_2O، فإنه يحتوي على القليل جدّاً من إجمالي المياه على سطح الأرض، حوالي 0.00004 % فقط، ومع ذلك يلعب المحيط الحيوي دوراً رئيسيّاً في نقل بخار الماء مرة أخرى إلى الغلاف الجوي عن طريق عملية النتح.

مكونـــات الغـــلاف المائـي

أي منطقة لتخزين المياه على الأرض تحتوي على مياه سائلة، نعتبرها جزءاً من الغلاف المائي. لهذا السبب، هناك قائمة واسعة من التكوينات التي تشكل الغلاف المائي بما في ذلك:

المحيطات: معظم المياه الموجودة على كوكبنا هي مياه مالحة، والغالبية العظمى من هذه المياه المالحة موجودة في المحيطات بنسبة 97.6 %

المياه العذبة: المياه العذبة أقل وفرة من المياه المالحة، وتتواجد في أماكن مختلفة.



المياه السطحية: تتكون المصادر السطحية للمياه العذبة من البحيرات والأنهار والجداول. بنسبة 0.008 %.

المياه الجوفية: تشكل المياه العذبة المخزنة تحت الأرض جزءاً صغيراً من المياه العذبة على الأرض بنسبة 0.5 %.

الدورة المائية Hydrologic Cycle

تصف دورة الماء أو (الدورة الهيدرولوجية) طرق نقل الماء في الغلاف المائي. تشمل هذه الدورة الماء الموجود تحت سطح الأرض وفي الصخور (الغلاف الصخري)، والمياه في النباتات والحيوانات (المحيط الحيوي)، والمياه التي تغطي سطح الكوكب في صورة سائلة وصلبة، والمياه الموجودة في الغلاف الجوي على شكل ماء بخار وسحب وهطول الأمطار. توصف الدورة الهيدرولوجية حركة الماء داخل الغلاف المائي. من السهل رؤية هذه الحركة في الأنهار والجداول، ولكن من الصعب معرفة وجود هذه الحركة في البحيرات والبِرك.

خصائص المحيط التي تؤثر في حركته هي درجة حرارته وملوحته. الماء البارد أكثر كثافة من الماء الدافئ، والماء المالح أكثر كثافة من الماء العذب. يحدد الجمع بين درجة حرارة الماء وملوحته ما إذا كان يرتفع إلى السطح، أو يغوص إلى القاع، أو يظل عند بعض العمق المتوسط.

توضح الدورة الهيدرولوجية حركة الماء عبر الغلاف المائي والغلاف الجليدي. تؤدي حركة الماء والجليد إلى تآكل سطح الأرض وتزويد أحواض المحيطات

بالرواسب. المواد الذائبة تصبح الملح في مياه البحر. تتركز الأملاح في مياه البحر مع تبخر المياه، ثم تسقط لاحقاً على شكل ترسيب، مع عودة معظمها إلى المحيط. يقع الباقي على الأرض ويتحول إلى جليد أو جريان أو مياه جوفية أو تمتصه الكائنات الحية، ومعظمها من النباتات.

الدورة الهيدرولوجية مدفوعة بالطاقة من الشمس. تمر دورة الماء بأربع خطوات رئيسية: التبخر، والتكثيف، والتساقط، وهناك عنصر إضافي في الدورة يُعرف باسم (النتح).

- **يتغير الماء الموجود** على سطح الأرض من سائل إلى بخار (غاز) من خلال التبخر، الأمر الذي يتطلب حدوث طاقة.
- **عند وصوله إلى الغلاف الجوي**، يبرد بخار الماء ويتراكم في شكل قطرات ماء تتحول إلى غيوم. تُعرف العملية بـ (التكثيف).
- **في نهاية المطاف**، تسقط الغيوم على الأرض في شكل هطول الأمطار، التي تشمل المطر والبرد والصقيع والثلج.
- **الجريان السطحي** هو مياه الأمطار التي تتدفق فوق سطح الأرض إلى المسطحات المائية.
- **تطلق النباتات** أيضاً بخار الماء في الغلاف الجوي من خلال النتح.





مراحل الدورة المائية

أهميـــة الغـــلاف المائـــي

الغلاف المائي له أهمية كبيرة لأنه يلعب دوراً أساسيّاً في بقاء جميع أشكال الحياة. فيما يلي بعض الوظائف المُهمَّة للغلاف المائي على الأرض:

1. أحد مكونات الخلايا الحية

تتكون كل خلية في الكائن الحي من 75 % ماء على الأقل. هذا يعزز الأداء الطبيعي للخلية. تتضمن معظم التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الكائنات الحية مواد مذابة في الماء. لا يمكن لأي خلية أن تبقى على قيد الحياة أو تكون قادرة على القيام بوظائفها الطبيعية بدون ماء.

2. موطن للعديد من أشكال الحياة

يوفر الغلاف المائي مكاناً مُهمّاً لتعيش فيه مجموعة واسعة من النباتات والحيوانات. يتم إذابة العديد من العناصر الغذائية، مثل: أيونات النترات والنتريت والأمونيوم وكذلك الغازات مثل ثاني أكسيد الكربون والأكسجين في الماء. تلعب هذه المركبات دوراً أساسيّاً في وجود الحياة في الماء.

3. تنظيم المناخ

إحدى الميزات الاستثنائية للمياه هي ارتفاع درجة حرارتها. وبالتحديد، لايستغرق الماء وقتاً طويلاً حتى يسخن فحسب، بل يستغرق أيضاً وقتاً طويلاً حتى يبرد. هل تعلم ما مغزى هذا؟

يلعب دوراً مُهمّاً في تنظيم درجات الحرارة على الأرض، مما يضمن بقاء درجات الحرارة ضمن النطاق المناسب لوجود الحياة. تلعب تيارات المحيط أيضاً دوراً مُهمّاً في تشتت الحرارة.

4. وجود الغلاف الجوي

يسهم الغلاف المائي بشكل كبير في وجود الغلاف الجوي بشكله الحالي. عندما تشكلت الأرض كانت تتكون فقط من غلاف جوي رقيق للغاية. كان هذا الغلاف الجوي مليئاً بالهيليوم والهيدروجين على غرار الغلاف الجوي الحالي لعطارد.

تم طرد غازي الهيليوم والهيدروجين لاحقاً من الغلاف الجوي. وأصبحت الغازات وبخار الماء الناتج عندما تبرد الأرض غلافها الجوي الحالي. أطلقت البراكين أيضاً غازات أخرى وبخار الماء التي دخلت الغلاف الجوي.

تشير التقديرات إلى أن هذه العملية حدثت منذ حوالي 400 مليون سنة.

5. احتياجات الإنسان

يفيد الغلاف المائي البشر بعدة طرق. إلى جانب الشرب، تُستخدم المياه للأغراض المنزلية، مثل: الطهي والتنظيف، وكذلك للأغراض الصناعية. يمكن أيضاً استخدام المياه في النقل والزراعة وتوليد الكهرباء من خلال الطاقة الكهرومائية.

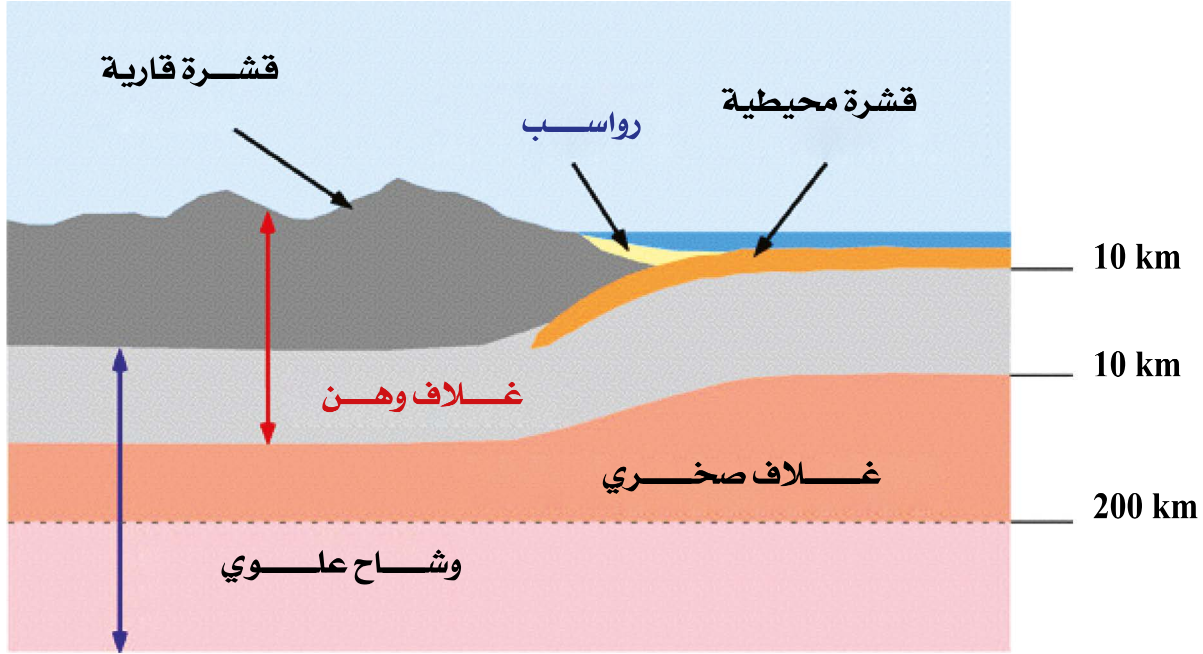
الغـــــــلاف الأرضـــــــي Geosphere

يشمل الغلاف الأرضي الصخور والمعادن الموجودة على الأرض - من الصخور المنصهرة والمعادن الثقيلة في أعماق باطن الكوكب إلى الرمال على الشواطئ وقمم الجبال. يشمل الغلاف الأرضي أيضاً الأجزاء اللاأحيائية (غير الحية) من التربة والهياكل العظمية للحيوانات التي قد تصبح متحجرة بمرور الوقت الجيولوجي.

الغلاف الأرضي هو الأرض نفسها: الصخور والمعادن والتشكيلات السطحية والداخلية. تحت القشرة - التي يختلف عمقها من حوالي 5 كيلومترات تحت قاع المحيط إلى 70 كيلومتراً تحت سطح الأرض، تكون درجات الحرارة مرتفعة بما يكفي لتشوه وتدفق العناصر مثل العجينة. في وقت من الأوقات، منذ ما يقرب من 200 مليون سنة، كانت القارات متحدة معاً في شبه قارة عظمى تسمى (بانجيا)، ولكن منذ ذلك الحين انفصلت الصفائح التكتونية ببطء، مما أدى إلى ترتيب القارات التي اعتدنا عليها اليوم.

لا تزال حركة الصفائح التكتونية مستمرة، ويمكن للإنسان أن يشهد نشاطاً عنيفاً في بعض الأحيان على شكل زلازل وبراكين. ومع ذلك، فإن التفاعل البشري مع الغلاف الأرضي الديناميكي يأتي بشكل أكثر انتظاماً في شكل تآكل السطح، واستخدامنا للأراضي الصالحة للزراعة، والحفريات لتشييد المباني والطرق والمناجم.





مكونات الغلاف الصخري

دورة الصخــــــور Rocks Cycle

وراء هـذه الأجـزاء، فـإن الغـلاف الجـوي يـدور حـول العمليـات. عمليـات دورة الصخـور، مثـل: التحـول، والذوبـان والتصلب، والعوامل الجوية، والتعرية، والترسـب، والدفـن، هــي المسـؤولة عـن إعـادة التدويـر المسـتمر للصخـور علـى الأرض بـين الحـالات الرسـوبية والناريـة والمتحولـة.

تتشـكل الصخـور الرسـوبية عـن طريـق التجويـة ونقـل الصخـور الموجـودة، ثـم الترسـيب والتدعيـم والضغـط في الصخـور الرسـوبية.

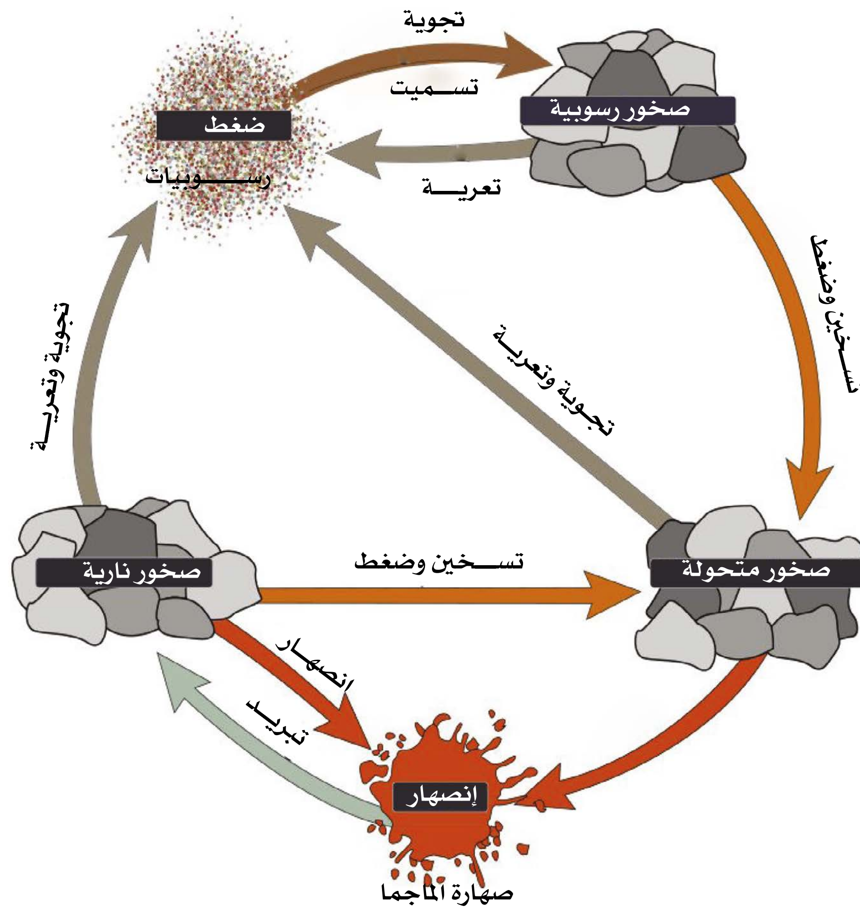
تتشكل الصخور النارية عن طريق تبريد وتبلور الصخور المنصهرة.

تتشكل الصخور المتحولة عندما يتم تطبيق الحرارة أو الضغط على الصخور الأخرى.

العامل الأساسي الذي يقود هذه العمليات هو حركة الصفائح التكتونية للأرض، مما يؤدي إلى تكوين الجبال والبراكين وأحواض المحيطات. يمكن أن يكون للتغييرات في معدل تكوين الصخور وتدميرها تأثير عميق في الكوكب. نظراً لتغير معدل حركات الصفائح التكتونية على مدار المقاييس الزمنية الجيولوجية، فقد تغيرت دورة الصخور أيضاً، وقد تمكنت هذه التغييرات من التأثير في المناخ. على سبيل المثال، في الأوقات التي يكون فيها معدل حركات الصفائح مرتفعاً، يكون هناك المزيد من النشاط البركاني، مما يؤدي إلى إطلاق المزيد من الجزيئات في الغلاف الجوي.

كما أن الحركات التكتونية للصفائح الأسرع تعني أيضاً بناء المزيد من الجبال في المناطق التي تتلاقى فيها الصفائح. عندما ترتفع الصخور إلى الجبال، تبدأ في التآكل والذوبان، مما يؤدي إلى إرسال الرواسب والمواد المغذية إلى المجاري المائية والتأثير في النظم البيئية للكائنات الحية.





دورة الصخور في الطبيعة

مكـــــــونات الأرض

تتميـز الأرض بالتركيـب الكيميائـي المحـدد والتركيـب البلَّـوري، حيـث تتكـون الأرض مـن حوالـي 2000 معـدن معـروف. تتكـون معظـم الصخـور في القشـرة مـن حوالـي 25 معدنـاً شـائعاً فقـط. بتكويـن 49.5 % أكسـجين و 25.7 % سـيليكون، تتكـون القشـرة الأرضيـة إلـى حـد كبيـر مـن مركبـات كيميائيـة لهذيـن العنصريـن بكميات أقل من الألومنيوم والحديد والكربون والكبريت وعناصر أخرى. بخلاف الألمنيوم والحديد، يتكون حوالـي 1.6 % فقـط من ثقـة الأرض من أنـواع الصخور التـي يجـب أن تكـون بمثابـة مـوارد مُهمَّـة للمعـادن والفوسـفور الـلازم لنمـو النبـات والمعـادن الأسـاسـية الأخـرى. تعـد الإدارة الدقيقـة لهـذا المـورد مـن المعادن الأسـاسـية أحـد المتطلبـات الأسـاسـية للاسـتدامة.

عندمـا تختـرق الصهـارة المنصهـرة بالقُـرْب مـن قمـة قشـرة الأرض ثـم تبـرد وتتصلـب، فإنهـا تشـكل صخـوراً ناريـة. تتعـرض الصخـور الناريـة، التـي تتعـرض للمـاء والغـلاف الجـوي، لتغيـرات فيزيائيـة وكيميائيـة في عمليـة تسـمى التجويـة. يمكن ضغـط المـواد الصخريـة التـي تحملهـا الميـاه والتـي تترسـب كطبقـات رسـوبية لإنتـاج معـادن ثانويـة، والتـي تعتبـر الطـين مثـالاً مُهمّـاً عليهـا. كان الصلصـال، الـذي تم تشـكيله وتسـخينه إلـى درجـات حـرارة عاليـة لصنـع الفخـار والطـوب ومـواد أخـرى، مـن أوائـل المـواد الخـام التـي يسـتخدمها البشـر ولا يـزال يسـتخدم علـى نطـاق واسـع حتـى يومنـا هـذا.

جـزء مـن القشـرة غيـر المائيـة الأخـرى هـو الطبقـة الرقيقـة من الصخـور المتآكلة، والمـواد العضويـة المتحللـة جزئيـاً، والمسـاحات الهوائيـة، والتربـة المكونـة للميـاه التـي

تدعم الحياة النباتية. لو كانت الأرض بحجم كرة الفصول الدراسية الجغرافية، فإن متوسط سمك طبقة التربة عليها سيكون فقط بحجم خلية بشرية! تعتبر التربة السطحية، التي لا يزيد سمكها على بضعة سنتيمترات في العديد من المواقع، أو حتى غير موجودة حيث أدت ممارسات الزراعة السيئة والظروف المناخية المعاكسة إلى فقدانها بسبب تآكل الرياح والمياه. يعتبر الحفاظ على التربة وتعزيز إنتاجية التربة من الجوانب الرئيسية للاستدامة.

التفاعـــل مع الأنظمـــة الأرضيـــة

على الرغم من أن الغلاف الأرضي يبدو ثابتاً، فإنه في الواقع لاعب نَشِط للغاية في أنظمة الأرض، حيث يؤثر في الغلاف الجوي والمحيطات، فضلاً عن العمليات الحرجة، مثل: دورة المياه والدورات الجيوكيميائية الحيوية. على سبيل المثال، تساعد أنواع المعادن الموجودة في التربة - نتائج العمليات الجيولوجية - في تحديد الغطاء النباتي والنظم البيئية على سطح التربة. تنقل الحركة التكتونية رواسب المحيطات إلى باطن الأرض. على النطاقات الزمنية الجيولوجية، يمكن للنشاط البركاني أن ينفث الكربون المخزن في الغلاف الجوي للأرض على شكل ثاني أكسيد الكربون. دورة الكربون هي إحدى الدورات الرئيسية التي تربط الغلاف الأرضي والغلاف الجوي والغلاف المائي والمحيط الحيوي.

يحتوي اللب الداخلي للأرض على الحديد السائل. يُعتقد أن حركتها تقود المجال المغناطيسي للأرض - الغلاف المغناطيسي - الذي يمتد إلى ما هو أبعد من الغلاف الجوي، مما يحمي الأرض والمحيط الحيوي من الرياح الشمسية والإشعاع الكوني. هذه الطبقة شديدة الحرارة ويمكن للتقدم في تكنولوجيا



الطاقة الحرارية الأرضية أن يمكّننا يوماً ما من تسخير كميات أكبر من الطاقة الحرارية من داخل القشرة وتحويلها إلى كهرباء على السطح.

مع تغير المناخ، يتفاعل الغلاف الأرضي مع أجزاء أخرى مختلفة من نظام الأرض.

المحيط الحيوي: تتضمن دورة الكربون، التي ترتبط عادةً بالمحيط الحيوي للأرض، التخزين العميق للكربون في شكل وقود أحفوري، مثل: الفحم والنفط والغاز وكذلك صخور الكربونات مثل الحجر الجيري. دورة الكربون هي واحدة من عدة دورات بيوجيوكيميائية، التي تشمل جميعها الغلاف الأرضي والمحيط الحيوي ومجالات أخرى من نظام الأرض.

الغلاف الجليدي: الأنهار الجليدية والصفائح الجليدية، وهي أجزاء من الغلاف الجليدي، لها تأثير كبير في الصخور والرواسب الموجودة تحتها. يعكس الثلج والجليد الحرارة من الشمس، مما يساعد على ذلك تنظم درجة حرارة كوكبنا.

لأن المناطق القطبية هي من أكثر المناطق حساسية إلى التحولات المناخية، قد تكون واحدة من الأماكن الأولى حيث العلماء قادرون على تحديد التغيرات العالمية في المناخ على سبيل المثال، تحركت الصخور الجليدية القارية أثناء تدفقها جنوباً خلال العصر الجليدي الأخير، مما أدى إلى إنشاء كيب كود، ولونج آيلاند، والتلال، والبحيرات. يمكن للجليد أيضاً أن يكون له تأثير إقليمي في ارتفاع الأرض، الذي يرتفع بمجرد ذوبان الجليد عن سطحه. كانت الأرض الواقعة في شمال وسط كندا ترتفع ببطء بعد ذوبان الأنهار الجليدية من العصر الجليدي الأخير.



أشكال الغلاف الجليدي **Cryosphere**

الغلاف المائي والغلاف الجوي: يؤدي تآكل الصخور، وهو جزء كبير من دورة الصخور والتغير في الغلاف الأرضي بمرور الوقت، إلى تحويل الصخور إلى رواسب، ثم في بعض الأحيان إلى صخور رسوبية. لكن تآكل الرواسب ونقلها وترسبها لن يحدث بدون أنهار الغلاف المائي والبحيرات والمحيطات أو رياح الغلاف الجوي وهطول الأمطار. تتشكل مجموعات مختلفة من الصخور الرسوبية في بيئات ذات ظروف مناخية مختلفة. يسمح هذا للجيولوجيين بإعادة بناء ما كانت عليه البيئة منذ ملايين السنين بناءً على الصخور الرسوبية التي ترسبت.

تفسير الظـواهر الطبيعيـة و الجوية عبر التاريـخ

لقد كانت هنالك محاولات لدى العلماء اليونانيين والعرب والمسلمين لفهم هذا الغلاف وطبقاته وأبعاده وحدوده في أعالي السماء، وكيف تتشكل الظواهر الجوية فيه. كما أننا سنتلمس بدايات التعرف على مفهوم الضغط الجوي من خلال بعض التجارب التي قام بها العلماء العرب قبل الأوربيين.

المبحث الأول: اليونانيون

اعتقد اليونانيون أن الطبيعة ينظمها أربعة عناصر أساسية: الأرض، والماء، والهواء، والنار. هذه العناصر لم تكن لها بنية مادية. أي لم يكن عنصر الأرض مصنوعاً من التربة أو الصخور، ولم يكن الهواء مزيجاً من الغازات التي نفهمها. كانت للكلمات معان مختلفة، الأمر الذي أدى إلى ظهور منظور مختلف جذرياً للعالم الطبيعي. (Allaby, 2009).

من ناحيةٍ أخرى، ومع أنه قد يكون من الصعوبة بمكان تقدير وتحديد سماكة الغلاف الجوي نظراً لكون كثافته تقل تدريجيّاً مع الارتفاع عن سطح الأرض، حيث تزداد نسبة الغازات الخفيفة وتقل نسبة الغازات الثقيلة التي تتركز في الطبقات السفلى منه. إلا أننا سنجد عند اليونانيين، ربما أول محاولة لتقدير ارتفاع المنطقة التي تحدث فيها الظاهرات الجوية.

- **أناكسمينيس (القرن 6 ق.م)**

كان أناكسيمينيس الميلتوسي Anaximenes (توفي 546 قبل الميلاد) يبدي اهتمامه بالظواهر الجوية. ففي كتاب (ما وراء الطبيعة) لا حظ أرسطو أن

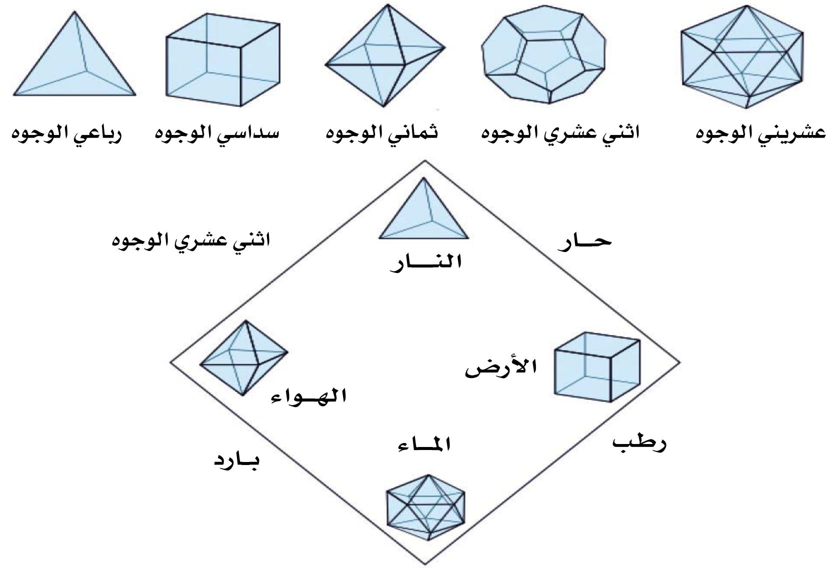
عنصر (الهواء) بالنسبة لأناكسيمينيس هو الشكل الرئيس والأولي للمادة، مع أنه ليس مؤكد تماماً كيف فهم تسمية (الهواء) هنا. وقد اقتبس سيمبليسيوس Simplicius (القرن السادس للميلاد)، في تعليقه على (فيزياء أرسطو)، تفسير ثيوفراسطوس Theophrastus (توفي 287 ق.م) في وجهة نظر أناكسيمينيس أن الهواء يمر بتغيرات يتعرض من خلالها إلى أشكال مادية أخرى، فهو إما أن يتكاثف إما يصير مخلخلاً أكثر. وبهذه الطريقة، يمنح الهواء أساساً لأشكال أخرى للمادة، من ضمنها الغيوم والريح. لذا، (عندما يكون الهواء أنقى يصير ناراً، وعندما يكون أسمك يصبح ريحاً، ثم غيمة، ثم (عندما يصير أكثر سمكاً ويستقر) يصبح ماءً، ثم أرضاً، ومن ثم حجارة، والبقية تدخل في حيز الوجود من هذه). لقد كانت هذه التغيرات التي يمر بها الهواء من خلال التكثيف والتخلخل حاسمة من أجل تفسير تغيّرات الطقس. (Taub, 2003).

ويرى مؤرخ العلوم المعروف جورج سارتون G. Sarton أن أناكسيمينيس قد أقنع نفسه بتجربة ساذجة مفادها أن التخلخل في الهواء يزيد من درجة الحرارة، في حين أن التكاثف يقلل منها، وقدم دليلاً على ذلك بقوله إننا عندما نزفر ونفتح فمنا يكون هواء الزفير حاراً، وعندما نزفر بشفتين شبه منطبقتين يكون الهواء بارداً. كذلك فقد أجرى أناكسيمينيس مماثلةً مفادها أن الهواء للنفس الحية مثل الرياح للعالم. (سارتون، ج1، 2010م).

- **فيثاغورس (القرن 5 ق.م)**

تأثر عالم الرياضيات الشهير فيثاغورس Pythagoras (توفي 475 ق.م) بشدة بنظرية العناصر الأربعة التي كانت شائعة أيامه. وقد أسس فيثاغورس مدرسة للفلسفة في اليونان في حوالي عام 500 ق.م. كان يعرف أعضاؤها باسم (جماعة

إخوان فيثاغورس)، وكانوا يعتقدون أن الأرض والكواكب والشمس والقمر (فضلاً عن الأرض المضادة غير المرئية، المخبّأة على جانب بعيد من الشمس) قد تم تعيينها على كرات من الكريستال التي تدور حول نار مركزية. وقد قام الفيثاغورسيون بتوزيع العناصر الأربعة على مجسمات متعددة الوُجُوه. يوضح الشكل التوضيحي الآتي كيف تم ترتيبها، حيث يمثل رباعي الوُجُوه عنصر النار، ويمثل الأرض سداسي الوُجُوه، والمجسم ذو العشرين وجه يمثل الماء، والمجسم الثماني يمثل الهواء. (Allaby, 2009). إلا أن الفيثاغورسيين لم يوضحوا لنا وجهة نظرهم في العلاقة بين العناصر الأربعة والظواهر الجوية.



تمثيل العناصر الأربعة وفق نظرية فيثاغورس على المجسمات المنسوبة إلى أفلاطون، وقد خصص المجسم الاثني عشري للعنصر الخامس (غير موجود في الشكل) ألا وهو الأثير. ونلاحظ أن الكيفيات الأربع التي تحدد خصائصَ كل عنصر موجودة على الشكل؛ فعنصر الهواء مثلاً يتمتع بخاصيتي البرودة واليبوسة. (Allaby, 2009).

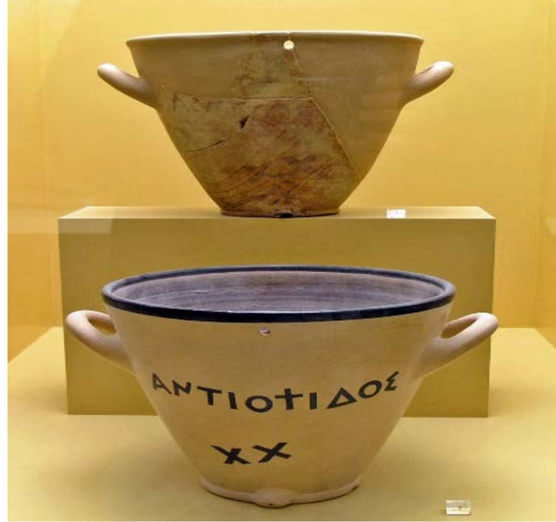


- **إمبيدوقليس (القرن 5 ق.م)**

لقد قدّم لنا إمبيدوقليس Empedocles (توفي 432 ق.م) أول نظرية متعددة عن المادة. لكنه اعتمد في ذلك على الفيثاغورسيين وهيراقليدس Heraclitus (توفي 480 ق.م) وبارمنيدس Parmenides (توفي القرن 6 ق.م) ، وقرر في قصيدته (عن طبيعة الأشياء) أن النار والهواء والماء والأرض هي عناصر المادة الأربعة الخالدة التي لا تقبل الفساد أو الخراب، بمعنى آخر إنها (جذور) الكون. تتحرك هذه الجذور ضمن دوّامة باستمرار متكاملةً فيما بينها دون أن تخلق فراغاً خاوياً، إنها تتمازج وتتجمع وتنفصل عن بعضها بشكل دائم، لتنتج بذلك أشياء جديدة في الطبيعة، حيث يكون في كل شيء نسب مختلفة منها (مثلاً تتكون العظام من ثلاثة عناصر، هي: الأرض والماء والنار وفق النسب الآتية: 2:2:4). إلا ما يتحكّم في تجميع العناصر وانفصالها هما قوتان بدائيتان: الحب، والكراهية، اللتان تتناوبان في سيطرتهما ضمن دورة من التنافر والتجاذب.

مساهمة أخرى نجدها لإمبيدوقليس كشف من خلالها وجود فرق بين الهواء والخلاء وأن للهواء وجوداً في كل مكان، وذلك من خلال تجربته على الساعة المائية التي تسمى الكلبسيدرا Clepsydra، وهي عبارة عن وعاء مجوف مخروطي الشكل، طرفه العلوي مفتوح وطرفه السفلي يحوي على فتحة صغيرة، وهو في الأصل أداة تستخدم لقياس الزمن عُرف عند المصريين منذ عهد السلالة الثامنة عشرة وعند البابليين القدماء أيضاً، وقد عرفها اليونانيون بشكل متأخر. (سارتون، ج1، 2010م). وعندما أراد إمبيدوقليس أن يثبت وجود الهواء الجوي في كل مكان كان منه أن قام بقلب الوعاء على طرفه العلوي المفتوح، وأغلق الفتحة الصغيرة السفلية بإصبعه، فمنع الهواء الموجود داخل

الوعاء الماء من الدخول. وكذلك الحال فإن الوعاء الممتلئ بالماء والمقلوب رأساً على عقب لا يمكنه أن يفرّغ نفسه مادام الإصبع موجود فوق الفتحة الصغيرة. وبذلك أثبت إمبيدوقليس أن الهواء له قوة يمارسها وفي الوقت نفسه يملأ الحيز الذي يشغله. وقد حاول يطبق هذا المبدأ على العلاقة بين حركة الدم في الجسم والهواء. حيث إنه اعتقد أن الدم يتحّرك صاعداً وهابطاً في الجسم؛ فعندما يهبط الدم يسمح بدخول الهواء للجسم وعندما يرتفع يدفع الهواء إلى الخارج. (فارنتن، ج1، 2011م). وكأن الأمر شبيه بحركة الضاغط (البستون) في محركات السيارات التي تعمل بالاحتراق الداخلي. مع أن التفسير غير صحيح لحركة التنفس في الرئتين، لكنها محاولة جيدة لإمبيدوقليس جعلت من الآخرين، خصوصاً الأطباء، يبحثون في آلية عملية التنفس.



صورة لساعتين مائيتين (كلبسيدرا) من متحف أجورا القديم في أثينا. الجزء العلوي هو الأصل ويعود لأواخر القرن الخامس قبل الميلاد. الجزء السفلي هو إعادة استنساخ للأصل. وقد استخدم إمبيدوقليس نموذج مماثل لهما، لكننا نتوقع أن يكون أصغر حجماً منهما.

(https://en.wikipedia.org/wiki/Water_clock)



- **أناكساغوراس (القرن 5 ق.م)**

أعاد الفيلسوف الإيوني أناكساغوراس الكلاوزميني Anaxagoras (توفي 428 ق.م) تجربة إمبيدوقليس في الكلبسيدرا، ثم قام بإجراء تجربةٍ أخرى بيّن من خلالها عدم إمكانية ضغط الهواء. حيث إنه أحضر أكياساً من الجلد المحكمة الإغلاق وقام بنفخها حتى امتلأت بالهواء، ثم ضغط عليها (فارنتن، ج1، 2011م)، ولا شك أنه وجد أنه يصعب ضغط الهواء عن طريق قوته الذاتية؛ لأن ذلك سيجعل الهواء ينفلت من أحد جوانب الكيس.

لم يكن أناكساغوراس يميّز بشكل واضح بين الهواء والأثير؛ فقد كان يدرك أن الهواء جسم يشبه البخار نوعاً ما، وأن الأثير مادة ألطف منه، لذلك فإن الأثير يشبه مادة القبة السماوية الزرقاء اللامعة، حتى أن كلمة الأثير نفسها مشتقة من الفعل (أيثو) والذي يعني يلهب أو يحرق أو يضيء. (سارتون، ج1، 2010م).

- **أرسطو (القرن 4 ق.م)**

كما نعلم فإن مشهد الكون كان عند أرسطو ومن سبقه من اليونانيين كرويّاً، حيث تتربع الكرة الأرضية في مركزه، وتسبح النجوم والأجرام السماوية في فلكها على كرات مخصصة لها. (Taub, 2003) . وقد كان من أرسطو أن خصص للعناصر الخمسة الرئيسية (الخامس هو الأثير أضافه أفلاطون واعتمده أرسطو). (سارتون، ج1، 2010م) خمس كرات جزئية تتوضع بين كرة القمر وسطح كوكب الأرض، وهي كرات تزود الغلاف الجوي بنسبٍ متفاوتة منها، فيكون من ذلك ظواهر جوية مختلفة. وبذلك يكون أرسطو قد خرج عن فكرة الدوامة التي

وضعها إمبيدوقليس، وأن حركتها هي ما ينتج أشياء طبيعية مختلفة. كما أنه وضع حركةً بديلةً عن الدوامة؛ حيث يتحرك عنصرا الأرض والماء نحو مركز الكون (كوكب الأرض)، أما عنصرا الهواء والنار فيتحركان بعيداً عنه.

لقد قبل أرسطو بنظرية العناصر الأربعة؛ لأنه وجد فيها وسيلةً لتفسير التغيرات التي تحدث في العالم الذي يقع تحت فلك القمر، أما لتفسير الظواهر التي تقع ما بعد فلك القمر فإن العنصر الخامس ألا وهو الأثير أفضل عنصر يمكن الاستعانة فيه، خصوصاً وأنه لا يخضع للفساد والتحلل. (سارتون، ج1، 2010م).

تنتج العناصر الأربعة (ما عدا الأثير) عن اتحاد أربع كيفيات (خصائص موجودة في المادة) حددها أرسطو وفق المعادلات الآتية:

حار + يابس = النار (تمثل القوة الفيزيائية).

حار + رطب = الهواء (تمثل الشكل الغازي للمادة).

بارد + يابس = الأرض (تمثل الشكل الصلب للمادة).

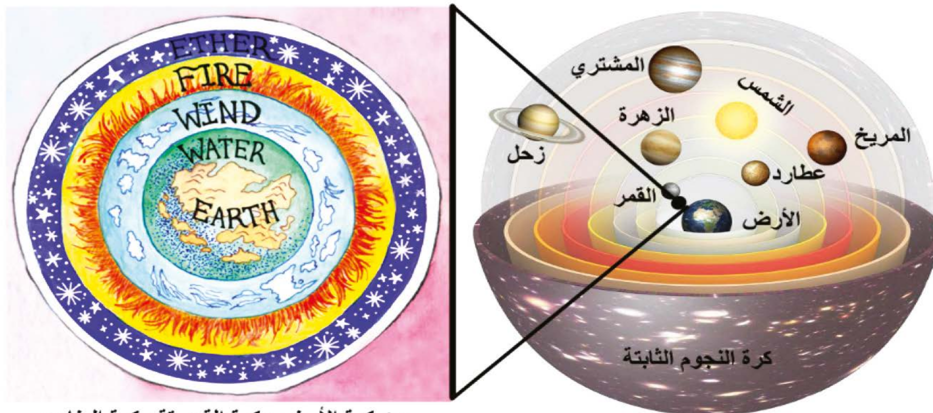
بارد + رطب = الماء (يمثل شكل المادة السائل).

وهنا يجب أن نفهم أن (الرطوبة) لا تنطوي بالضرورة على فكرة الرطوبة بسبب وجود الماء. إنما قد تمثل (السيولة fluidity)، كونها خاصية مشتركة للهواء والماء؛ ولكن تبقى السيولة عكس (اليبوسة) وليس عكس (الصلابة). (Jas, 1894).

إذاً تعبر الأرض والماء والهواء والنار (الترتيب من العنصر الأكثف إلى الأقل كثافةً) عن الأجسام البسيطة أو العناصر المتحركة. أما الكيفيات الأربع فهي:

اثنتان فاعلتان (أي تؤثر ذواتهما في حواسنا مباشرةً) وهما: الحرارة، والبرودة، واثنتان منفعلتان (أي لا تؤثر ذواتهما في حواسنا مباشرةً) وهما: الرطوبة، واليبوسة. (مرحبا، 1985م).

نظرية العناصر هذه وكيفياتها ستكون الكائنات الطبيعية التي سيرتكز عليها أرسطو وأشياعه كثيراً لتفسير كل الظواهر الجوية التي تقع تحت كرة القمر. من ناحيةٍ أخرى فإننا سنشهد مع أرسطو ولادة -ربما الأولى من نوعها- محاولة لتفسير ما يحدث في الأجهزة والآلات التي تعتمد على ضغط الهواء، مثل المنافخ وبعض الساعات المائية والمضخات، على أنه قائم على مبدأ أن (الطبيعة تكره الفراغ). (يمين، 1989م)، وسيبقى هذا المبدأ معتمد حتى مجيء تجربة البيروني الذي قدم لنا تفسيراً علميّاً أكثر منطقية من مبدأ أرسطو كما سنجد ذلك لاحقاً.



بين كرة الأرض وكرة القمر تقع كرة العناصر الخمسة.

تتوضع كرات العناصر الخمسة -حسب رأي أرسطو- بين الكرة الأرضية والكرة التي يتحرك ضمنها القمر حول الأرض. وتعتبر كرة النار وكرة الهواء والغلاف المائي على سطح الأرض من أكثر العناصر الفاعلة في الأحوال الجوية، في حين أن كرة الأثير ترتبط بالنجوم.

(https://www.sciencephoto.com) & (elementsunearthed.com)



حاول أرسطو ومن تبعه أيضاً وضع تقديرات لسماكة منطقة الظواهر الجوية التي تقع بين سطح كرة الأرض وكرة النار، وينقل لنا محمد بن حمد التميمي (القرن 4هـ/ 10م) أن سماكة هذه المنطقة وفق أرسطو هو (6400 باع). (التميمي المقدسي، 1999م). فإذا علمنا أن قيمة الباع كانت تتراوح عند العرب بين (1.7 متر و 2 متر) (فاخوري وخوام، 2002م)، فهذا يعني أن ارتفاع المنطقة يتراوح بين (108.8 و 128 كيلومتراً). وكما نلاحظ فإنها تقريباً ضعف القيمة المتفق عليها حالياً التي تتراوح بين (50 و 85 كيلومتراً).

على العموم فإنّ هذا التقدير لسماكة الغلاف الجوي سيخضع لعدد من التغيّرات مستقبلاً على يد بعض العلماء العرب وصولاً إلى أقرب قيمة صحيحة ممكنة، التي تتفق كثيراً مع التقديرات الحديثة.

ويبدو أن أرسطو كان يدرك أن للغلاف الجوي وزن، لكنه لم يكن قادراً على قياس هذا الوزن. وربما أراد كذلك مقياس رياح ليقيس من خلاله سرعة التيارات الجوية، ومقياس رطوبة يمكن من خلاله قياس كميات البخار. كما أنه لم يكن لديه أي معرفة بالكهرباء، التي تقوم أيضاً بدورٍ مُهمٍّ في ظواهر الأرصاد الجوية. (Lewes, 1864).

• ستراتو (القرن 3 ق.م)

تأثر ستراتو اللمباسكي Strato of Lampsacus (توفي 269 ق.م) بأستاذه ثيوفراسطوس، وكان خليفته في رئاسة الليسيوم (الأكاديمية التي أسسها أرسطو)، ولكنه لم ينجح في التمييز بين الهواء والبخار، فقد قال موضحاً: (إن البخار الصاعد من وعاء فوق نار مجرّد ماء مخلخل يتحوّل إلى هواء). وعلى هذا فهو لم يكن يعرف إلى أي حدّ يختلف فيه البخار عن الهواء. (فارنتن، ج2، 2011م).

- **فيلون البيزنطي (القرن 2 ق.م)**

يعدّ فيلون البيزنطي Philo of Byzantium (توفي 220 ق.م) آخر الميكانيكيين الذين وصلتنا أخبارهم من الفترة الهلنستية. وقد أجرى عدة تجارب دوّنها في كتابه (نيومتاتيكا Pneumatica) كان هدفه الرئيس منها أن يثبت أن للهواء طبيعةً ماديةً، بمعنى أنه شيء وليس لا شيء. نذكر هنا تجربته التي تستخدم في ما يسمى (بكاسات الهواء) التي تستخدم في الحجامة. حيث إنه حرق قطعة من الورق داخل كأس ثم قلبها رأساً على عقب على وعاء فيه ماء، وإذْ بالماء ينسحب داخل الوعاء ليحلّ محل الهواء المستهلك في عملية الحرق، وبذلك فإن فيلون يكون قد سبق أنطوان لافوازييه A. de Lavoisier (توفي 1794م) الذي توصل إلى النتيجة نفسها عام 1777م. (سارتون، ج5، 2010م).

المبحث الثاني: الرومانيون

حاول لوكيوس أنّايوس سينيك المشهور بلقب سينيكا L. A. Seneca (توفي 65م)، أن يقدم تفسيراً مفصلاً عن طبيعة الهواء في كتابه (المسائل الطبيعية Naturales Quaestiones. حيث إنه أوضح الحاجة إلى تقديم مثل هذا التفسير، لأن الرعد والبرق يحدثان في الجو أيضاً. فهو يرى أنّ البعض يفهم أن الهواء ضروري لتفسير هذه الظواهر. وقد فسّر الهواء على أنه الجزء الأساسي للكون، متأثراً بذلك بما طرحه اليونانيون من قبل، وخصوصاً أناكسيمينيس.

قال سينيكا: (إن ما يصل السماء والأرض ويفصل الأدنى عن الأعلى بمثل هذه الطريقة مع أنه (أي الهواء) يتصل بهما. تفصله لأنه يتداخل بمنتصف الطريق، وهو ينضمّ إليهما لأنه من خلال ذلك يصنع اتصال بين الاثنين)؛ فالهواء (يرسل



إلى المنطقة مهما يكن ما تستلمه من الأرض)، لكنه أيضاً (ينقل إلى المواد الأرضية تأثيرات النجوم). وفي حين أنّ الهواء هو جزء من كامل الكون، فهو (يُلقى أينما ترسله الأرض من أجل التغذية من الأجرام السماوية). وبشكل لافت، يذكر سينيكا أن (كل الاضطراب والتخلخل مستمد من هذا العنصر الأرضي). لكن من المُهمِّ أن نفهم أن الهواء ليس هو ذاته في كامل امتداده، إنما هو متبدل بمحيطه. حيث إنّ منطقته الأعلى جافة جدّاً وحارة، ولذلك هي رقيقة جدّاً بسبب قُرّب النار الأبدية منها، والكثير من حركات النجوم، ودوران السماء المستمر. (Taub, 2003).

وقد قسّم سينيكا الغلاف الجوي تقسيم حراري إلى ثلاث طبقات: عُليا، ووسطى، ودنيا. فالمنطقة الأدنى، قُرّب الأرض، فهي كثيفة ومعتمة لأنها تستقبل التيارات الأرضية. في حين أنّ المنطقة الوسطى فهي أكثر اعتدالاً (بالمقارنة مع المنطقتين العُليا والدنيا، حسب الجفاف والسماكة)، لكنها أبرد من المنطقتين الأخريين. المناطق العُليا للهواء تكون حارة لقُرّبها من النجوم. والمنطقتان الدنيا والوسطى أيضاً دافئتين؛ الأولى بسبب تيار هواء الأرض، الذي يحمل معه مقداراً كبيراً من الدفء؛ الثانية، لأن أشعة الشمس تعود منعكسة وتجعل الهواء دافئاً بشكل لطيف أكثر مع الحرارة المنعكسة بقدر ما تكون قادرة على الوصول. بالإضافة إلى أن الهواء الأدنى يسخنه النَّفَس الذي يصدر من كل الحيوانات والأشجار والنباتات، لأنه لا شيء يكون على قيد الحياة بدون حرارة. علاوة على ذلك، (فإنّ الغلاف الجوي مقسم بطريقة، وهي متغيرة بشكل خاص، وغير مستقرة ومتغيرة في منطقتها الأدنى. والهواء قُرّب الأرض هو الأكثر عصفاً ومع ذلك فهو الأكثر عرضة للتأثر لأنّ كليهما يشتعلان كونهما متقدين. إلا أن الكل لا يتأثر بالطريقة ذاتها. إنه مضطرب في أجزاء مختلفة وفي أمكنة مختلفة). هذه التفاوتات في الهواء في أمكنة مختلفة هي حاسمة بالنسبة لفهم سينيكا للتفاوتات الرصدية الجوية المحلية. (Taub, 2003).

التغيرات في الجو تكون بسبب الحركات المختلفة في الكون. في بعض الحالات: (تقدم الأرض بعض الأسباب للتغير الجوي وعدم الاستقرار. موقع الأرض.. يؤثر بشكل كبير في حالة الجو). لكن يوجد بواعث سماوية أيضاً بالنسبة إلى التغيرات في الجو مثل (حركات النجوم، التي قد تعتبر الشمس أكثرها تأثيراً، وهي تقدم أسباباً أخرى. السنة التي تتلي الشمس، وفصول الشتاء والصيف تتناوب وفق تغيرات دورة الشمس. بعد ذلك، وحسب الأهمية، يأتي تأثير القمر. لكن أيضاً للأجرام السماوية تأثيرها في الأرض والجو الذي يغطي الأرض. مسارها أو سبب التقائها، يكون بطرائق معاكسة، فهي تارة باردة، وتارة ماطرة، وأخرى مضطربة عنيفة على الأرض). (Taub, 2003).

إذاً حاول سينيكا أن يقدم لنا نظرةً شاملة لكل الأسباب التي تؤثر في حركة وسكون الغلاف الجوي، كما حاول أن يفسّر ذلك حسب ما توفر بين يديه من معطيات ونظريات تهيمن عليها الصبغة اليونانية بشكل واضح. لكن أهم ما طرحه هو تقسيمه للغلاف الجوي لثلاث طبقات جزئية سيظهر هذا التقسيم الحراري مرة أخرى عند إخوان الصفا بشكل معدّل.

المبحث الثالث: العلماء العرب والمسلمين

عُرف الغلاف الجوي عند العرب بالهواء، وقد جاء تعريف الهواء في (لسان العرب) لابن منظور (توفي 711هـ/ 1311م) بقوله: هو (الجو ما بين السماء والأرض. والجمع الأهوية، وأهل الأهواء واحدها هوى، وكل فارغ هواء). (ابن منظور، لسان العرب، مادة (هوا)، ج15). وقد جاء في الأمثال العربية (أخف من النسيم. أخف من الهباء. أرق من الهباء). (أبو سعد الآبي، 2004م).



ومن الناحية العلمية؛ فقد تأثر بعض العلماء العرب بالنظرية الأرسطية في توضع طبقات العناصر الخمسة فوق بعضها بعضاً وأخذ بها البعض، لكن البعض الآخر كان له رأي آخر سواء من ناحية تقسيمات طبقات الغلاف الجوي أو من ناحية تقديره لسماكته.

• جابر بن حيان (القرن 3هـ/ 9م)

حاول جابر بن حيان (توفي 199هـ/ 815م) تبيين خصائص الهواء من ناحية المعرفة العلمية التي كانت شائعة في عصره التي تعتمد نظرية العناصر الأربعة اليونانية؛ فقد تبين له أن طبيعته حارّة نظراً لقبوله الحركة، وليس كما وصفه الفيثاغورسيين بأنه (بارد- رطب)، وقد تتولد فيه الحرارة كما تتولد عن احتكاك شيئين عن بعضهما.

قال جابر: (إن الهواء -كما علمت حارّ- بالقول المطلق، سريع القبول للحركة، متحرك بالجزء لا بالكل، والقدح له بالزناد زائد في حرارته وحركته إذ كانت الحركة محدثة للحرارة فاعلة لها من حيث كان كالشيء تحرّك على شيء). (ابن حيان، جابر، 1928م).

ومن خصائص الهواء أيضاً أنه قد يجمع بين جميع طبائع المادة من حرارة وبرودة ورطوبة ويبوسة، وعندما يجتمع فيه ضدان، الحرارة والبرودة مثلاً، تجد أن خصائصه تصبح قريبة من خصائص الأرض.

قال جابر: إنّ (الهواء فيه جميع الطبائع لأنه يجانس النار بالحرارة والماء بالرطوبة، والماء يجانس الأرض بالبرودة والنار يجانس الأرض باليبوسة. فيحق أن يكون الهواء جامعاً الطبائع المتنافرة، لكنه إذا جمع الضدين إلى نفسه أصلحا بينه وبين ضده التي هي الأرض). (ابن حيان، 1928م).

• **النيريزي (القرن 4هـ/ 10م)**

أفرد أبو العباس الفضل بن حاتم النيريزي (توفي نحو 310هـ/ 923م) كتاب خاص بعنوان (كتاب في معرفة آلات تُعلم بها أبعاد الأشياء الشاخصة في الهواء التي على بسيط الأرض وأغوار الأودية والآبار وعروض الأنهار) (في الفهرست لابن النديم، لها عنوان آخر هو: (تهيئة آلات يتبين فيها أبعاد الأشياء)، وقد أورد فيها مسألة ارتفاع السحب عن سطح الأرض. ويشير فيها إلى آراء أرسطو حول إمكانية استخدام الهندسة في معرفة الارتفاع. وقد اعتمد قيمة أرسطو في تقديره لسماكة الغلاف الجوي وهي 16 ستاديا (سزكين، تاريخ التراث العربي) (أحكام التنجيم والآثار العلوية، المجلد 7، 1999م). طبعاً دون أن يحدد هل هي المسافة من سطح الأرض حتى نهاية كرة الهواء أم حتى نهاية كرة النار.

على العموم، كانت الستاديا تعادل أيام أرسطو (174.6متر) حسب المؤرخ سارتون، وبالتالي فإن سماكة الغلاف الجوي وفق النيريزي هي (174.6 × 16 = 2793.6متر)، وهي أقل بكثير من القيمة الدنيا (108.8كيلومتر) التي قدّرها التميمي بالأذرع ونسبها إلى أرسطو.

- **أبو الحسن المسعودي (القرن 4هـ/ 10م)**

تناول أبو الحسن المسعودي (توفي 345هـ/ 956م) في كتابه (مروج الذهب ومعادن الجوهر) القيمة التي يذكرها أهل زمانه عن سماكة كرات العناصر الأربعة كلها بما فيها طبقة الغلاف الجوي (الهواء). فقدّرها بالقيمة 118000 ميل عربي، فإذا علمنا أن قيمة الميل العربي تتراوح عند العلماء العرب بين (1946.4912 متر و 1981.25 متر). (فاخوري وخوام، 2002م). فهذا يعني أن المسافة بين مركز الأرض وآخر نقطة من كرة النار تتراوح بين (229685.9616 كيلومتر و 233787.5 كيلومتر).

قال المسعودي «وقد تكلم الناس في بُعد الأرض فذكر الأكثر أن من مركز الأرض إلى ما ينتهي إليه الهواء والنار مائة ألف وثمانية عشر ألف ميل» (المسعودي، أبو الحسن، مروج الذهب ومعادن الجوهر، ج1، 2005م).

وإذا علمنا أن نصف قطر الأرض 3200 ميل (أي تتراوح بين 6228.77184 كيلومتر و 6340 كيلومتر) فهذا يعني أن المسافة من سطح الأرض إلى آخر نقطة من كرة النار تتراوح بين (223457.18976 كيلومتر و 227447.5 كيلومتر). وفي كلتا القيمتين هي أكبر بكثير من تقديرات التميمي التي نسبها إلى أرسطو.

- **محمد التميمي (القرن 4هـ/ 10م)**

أشار التميمي إلى اعتقاده بتأثير كرة عنصر النار في كل العناصر الأخرى حيث قال: (إني نظرت في حال العناصر الأربعة، فلم أجد عنصراً منها له سلطان على الهواء والماء وعلى العنصر الثالث، أعني الأرض وما ينشأ فيها ويعيش على ظهرها من الحيوان، غير العنصر الرابع الذي هو النار). (التميمي المقدسي، 1999م). وقد



فسّر النص السابق محقق كتاب التميمي (مادة البقاء) على أنه (إيقاد النار بشكل مستمر من أجل تنقية الهواء). (التميمي المقدسي، 1999م). ولا شك بأنه تفسير خاطئ تماماً، وليس علاقة له لا بإشعال النار ولا بتنقية الهواء، وإنما أراد التميمي أن ينبه إلى إحاطة كرة النار بكرات بقية العناصر، وبالتالي تأثيرها فيها بشكل أكبر من غيرها.

والدليل على ذلك هو تتمة النص السابق قول التميمي: (وسأذكر كيفية إصلاح النار للعناصر الثلاثة الأخرى إذا هي فسدت معاً أو فسد أحدها، ونعت كيفية انحطاط شعاعها وحرها إلى وجه الأرض ووصوله إلى أرحامها لإخراج النبات وتوليد أحجار المعادن، وما في ذلك للحيوان وللنبات من المنافع والنمو ودوام الحياة). (التميمي المقدسي، 1999م). وأصل الفكرة - كما ذكر التميمي في موضع آخر من الكتاب - مأخوذ عن الحرانيين الذي يستخدمون مبخرة تنجيمية تسمى (الأقفاء) تعود أصولها لليونانيين. (التميمي المقدسي، 1999م).

ويرى التميمي أن (الماء والهواء عنصران متجاوران يستحيل أحدهما إلى الآخر، ويدخل أحدهما في أجزاء الآخر فيشابكه ويمازجه). (التميمي المقدسي، 1999م). طبعاً هذه التحولات تجري ضمن الكرات كونها محيطة ببعضها بعضاً، وبالتالي يحدث فيما بينها تبادل وتأثير، خصوصاً في مناطق التماس.

من ناحية أخرى؛ فقد فسّر لنا التميمي سبب وجود التقدير الذي وضعه أرسطو لسماكة الغلاف الجوي -ويبدو أنه يتفق فيه مع أرسطو- وهو أنه يمثل الحد الأقصى لانعكاس أشعة الشمس من سطح الأرض وعودته للأعلى، كما أنه يعبر عن أقصى مكان يمكن أن يظهر فيه السحاب في الغلاف الجوي. إلا أن التميمي

لم يوضح الطريقة أو القاعدة الحسابية أو الهندسية التي اعتمدها أرسطو التي أوصلته لهذه القيمة.

قال التميمي: (فأريد الآن أن أذكر: ما العلة التي أوجبت ذلك، وما السبب في أن هذا المقدار غاية تصاعد الأبخرة إذْ أغفل ذكر ذلك من تقدم، فأقول إن السبب الذي صار من أجله هذا المقدار غاية ارتفاع الأبخرة أن هذا المقدار هو غاية انعكاس شعاع الشمس عند مصادمة صفحات وجه الأرض، من حيث ما واجهها ورجوعه صاعداً إلى العلو، وذلك القدر فهو حد ما بين أعلى السحاب المنعقد في الجو وبين وجه الأرض، وهو حد منتهى مجرى السحاب من الجو، وذلك لأن الأبخرة والغمام المنعقد منها لا يَتَّجَر (بمعنى جرّ وسحب وجذب) ولا يقف عند تصعده إلى الجو إلا عند مناهي انعكاس طرف شعاع الشمس، فثم تقف الأبخرة وثمّ ينعقد السحاب وثم يجري، وهو حد البرد الكائن في الجو الذي قصر حد رأس الشعاع عن أن ينتهي إليه أو يناله فيحميه ويمنع الأبخرة من الاجتماع إليه والانعقاد فيه، وإنما يعين البخار على الانعقاد ويجمعه برد الجو الذي بينه وبين وجه الأرض هذا المقدار الذي ذكرنا من الأذرع). (التميمي المقدسي، 1999م).

- **إخـــوان الصفـــا (القرن 4هـ/ 10م)**

قدّم لنا أخوان الصفا تعريفهم للهواء، كما أنهم ذكروا لنا بعض خصائصه من ناحية الشفافية والميوعة والتدفق وإمكانية قبوله لكافة أنواع التغيرات والظاهرات الجوية، مثل: النور ، والظلام، والصوت، والروائح، والبرد، والحر. وهي الأفكار التي سبق وأن أشار إليها جابر بن حيان عندما تناول قبول الهواء لجميع الطبائع.



قال أخوان الصفا: (إنّ الهواء جوهر شريف فيه فضائل كثيرة وخواص عجيبة. من ذلك أنه يمنع النيران برطوبته أن تيبس وتجف كما يمنع الأصوات بسيلانه أن تثبت زماناً طويلاً فيقل الانتفاع بها ويكثر الضرر منها). (إخوان الصفا، مجلد2، 1928م). وهكذا فإن (الهواء بحرٌ واقف، لطيف الأجزاء، خفيف الحركة، سريع السيلان، سهل القبول للتغييرات والحوادث). (إخوان الصفا، مجلد2، «د.ت»).

وذكروا أن التفاعل بين كرات العناصر الأربع المحيطة بالأرض قائم بشكل دائم حيث إنّ (هذه الأركان الأربعة يستحيل بعضها إلى بعض فيصير الماء تارةً هواء وتارةً أرضاً. وهكذا أيضاً حُكم الهواء فإنه يصير تارةً ماء وتارةً ناراً. وكذلك النار وذلك أن النار إذا أطفأت وخمدت صارت هواءً، والهواء إذا غلظ صار ماءً، والماء إذا جمد صار أرضاً). (إخوان الصفا، مجلد2، 1928م).

كما قدم لنا إخوان الصفا تقديراتهم لسماكة الغلاف الجوي المحيط بالكرة الأرضية على أنه 35755 فرسخاً. (إخوان الصفا، مجلد2، «د.ت»). فإذا علمنا أن قيمة الفرسخ كانت تعادل أيامهم (5.9193 كيلومتر). (فاخوري وخوام، 2002م). فهذا يعني أن سماكة كرة الهواء تعادل وفق وحدات قياساتنا الحالية (211644.5715 كيلومتر). وهي أكبر من القيمة العظمى التي قدّرها اليونانيون (128 كيلومتراً) وأقرب إلى القيمة التي قدّرها المسعودي.

ويعود سبب هذا التفاوت الكبير هو اعتبار إخوان الصفا أن قطر كرة الغلاف الجوي تعادل 16.5 مرة قطر الكرة الأرضية الذي كان يعادل عندهم (2167.1515 فرسخ). (إخوان الصفا، مجلد2، «د.ت»).

ثم يقتـــــــرح إخـــــوان الصفا أن كرة الهواء تصنف حراريّاً بحد ذاتها إلـى ثـلاث طبقـات جزئيـة، وهـي حسـب قُرّبها مـن سـطح الأرض. (إخـــوان الصفـا، مجلـد2، «د.ت»):

1. طبقة النسيم

وهي أقرب طبقة لسطح الأرض، يختلف تركيبها من موضع لآخر. وقد حدد إخوان الصفا سماكة هذه الطبقة (16000 ذراع). (إخوان الصفاً، مجلد2، «د.ت») وهي القيمة نفسها التي سيتبناها أبو عبد الله زكريا بن محمد بن محمود القزويني (توفي 682هـ/ 1283م) في كتابه (عجــائب المخلوقات). (القزويني، عجائب المخلوقات ....، «د.ت»)، وهو أقصى مدى يمكن أن تصل إليه السحب في الغلاف الجوي، والسبب في ذلك أن بُعْد هذا الارتفاع تزداد شدة البرد بشكل مفرط. (إخوان الصفا، مجلد2، «د.ت»). وتعد وحدة قياس المسافات الأساسية التي شاعت وانتشرت عند العرب والمسلمين هي الذراع الشرعية التي تعادل قيمتها تقريباً (49.3274 سنتيمتر). (فاخوري وخوام، 2002م). إذاً فإن القيمة التقديرية تعادل وفق وحدات قياساتنا الحالية (7892.384 متر ↔ 8 كيلومترات).

2. طبقة الزمهرير

وهـي الطبقـة التـي تلـي طبقـة النسـيم، وهـي بـاردة جدّاً، ويعـود سـبب برودتها إلـى انخفـاض الحـرارة الواصلـة إليهـا مـن طبقـة الأثيـر التـي تعلوهـا.

3. طبقة الأثير

وهـي الطبقـة الأخيـرة، وهـي في غايـة الحـرارة بسـبب حركـة مـدار القمـر التـي تحتك بالهـواء المتاخم لهـا.

التقسيم السابق لإخوان الصفا يذكرنا بالتقسيم الذي وضعه سابقاً سينيكا، كما يذكّرنا بالتقسيم الحالي الحديث لطبقات الغلاف الجوي القائم على أساس حراري أيضاً، وهي: الطبقة السفلية (التربوسفير)، والعلوية (الستراتوسفير)، والمتوسطة (الميزوسفير)، والحرارية (الثرموسفير). (الأحيدب، 2004م).

كما قدم لنا إخوان الصفا أيضاً مجموعة من الأفكار على مستوى كبير من الأهمية، وهي أن التغيرات الجوية لا تحدث في الطبقات الثلاث السابقة وحسب، وإنما في سطوح التماس المشتركة بينها أيضاً. وهو ما لا يحدث في السطوح البينية التي تكون بين الأجسام الصلبة.

قال إخوان الصفا: (وذلك أن السطوح نوعان: مشتركة، ومتداخلة، فالمشتركة، مثل: سطح الماء والهواء، والسطح الذي بين الدّهن والماء، فإنه ليس بين الجسمين إلا فاصلٌ مشترك يفصل أحدهما عن الآخر فصلاً وهميّاً فقط. وأما السطح المتداخل فمثلُ سطح الماء الواقف في الطين والرمل، فإنّ الأجزاء الأرضية متداخلة لأجزاء الماء، وأجزاء الماء متداخلة لأجزاء التراب، فلا يكون بينهما فاصل مشترك يفصل بينهما. واعلم يا أخي أن من السطوح ما يقارب طبيعة الجسمين المتماسين، ومنها ما لا يقارب، مثل سطح الهواء من أسفل مما يلي الأرض، وكذلك سطح الهواء المحيط بالنيران التي عندنا، فإنه يكون أسخن من سائر أجزائه البعيدة عن النار، وكذلك سطح النار مما يلي الهواء المحيط به أقل حرارة من سائر أجزائه الباقية. وأما سطوح الأجسام الصلبة، مثل: الحديد والخشب والحجر وما شاكلها، إذا تجاورت فلا يعرض لها هذا الوصف». (إخوان الصفا، مجلد2، «د.ت»).

وبعد هذا الشرح عن حالات السطوح التي نصادفها بين المواد، قاموا بتوضيح حالات السطوح بين كرات الطبقات الهوائية الثلاث السابقة، فالسطح المشترك طبقة النسيم والزمهرير غير مشترك بل متداخل مثل سطح النار والهواء والأرض. أما السطح بين الزمهرير والأثير فهو سطح متداخل غير مشترك. (إخوان الصفا، مجلد2، «د.ت»).

- **ابن سـينا (القرن 5هـ/ 11م)**

يعتقد ابن سينا (توفي 428هـ/ 1036م) أنه لا يوجد هواء صرف، وإنما لا بُدَّ وأن يختلط بنسبةٍ معينة من بقية العناصر الأخرى، مثل: الماء، والنار. فإذا التقى الهواء وفيه نسبة من العناصر الأرضية أو المائية أو النارية مع عنصر الأرض أو الماء أو النار زادت نسبة ذلك العنصر في الهواء، وأثرت في خصائصه وسلوكه.

قال ابن سينا: (لا أرض صرفاً ولا نار صرفاً، ولا ماء صرفاً، ولا هواء صرفاً؛ بل كل واحد منها مختلط من الجميع، ويعرض له في وقت ملاقاة غيره إياه مما الغالب فيه غير الغالب فيه، أن يبرز ويظهر فيه ما هو مغلوب لملاقاة الذي من جنس المغلوب فيه غالب، وظهوره بأن يتحرّك إلى مقاومة ما غلبه وعلاه، فيستعلي عليه. وإذا تحرّك إلى ذلك عرض للنظام الذي كان يحصل باجتماع الغوالب والمغلوبات أن يحيل ويستحيل). (ابن سينا، الشفاء، السماء والعالم، 1969م).

وتعمل الرطوبة الناجمة عن بخار الماء التي تتداخل مع الهواء في الغلاف الجوي على تبريده، ولولا ذلك لكان حاراً لا يطاق.

قال ابن سينا: (إنّ الهواء إذا تُرك وطباعه، ولم يبرد بسبب مخالطة أبخرة تزول عنها الحرارة المصعدة، وتعود إلى طبيعة الماء، كان حاراً. وكيف لا يكون كذلك والماء إذا أريد أن يُحال هواء سخن فضل تسخينه. فإذا استحكم فيه التسخين كان هواء). (ابن سينا، الشفاء، السماء والعالم، 1969م).

ويرى ابن سينا أنّ (الهواء وبالجملة كل دقيق متخلخل، يعرض له عند شدة الحركة من المقاومة ألا ينخرق بل ربما حرق. فإذا اكتنف التراب، من فوق ومن تحت هذان السببان تحيّر ووقف). (ابن سينا، الشفاء، السماء والعالم، 1969م).

ثمّ قدّم لنا ابن سينا تقسيمه للغلاف الجوي إلى ثلاث طبقات، وهو تقسيم يختلف عن تقسيم إخوان الصفا الحراري السابق، وقائم على أساس كثافة المواد:

1. طبقة بخارية، يشكل مادتها بخار الماء المتصعّد عن المواد الرطبة.
2. طبقة هواء صرف، وهي طبقة لا يمتزج معها أي مادة غازية أخرى، لا بخار ماء ولا دخان.
3. طبقة دخانية، وهي طبقة تتشكل مادتها مما يتصعّد عن المواد اليابسة.

ونلاحظ من تصنيف ابن سينا هذا كيف أنه اعتبر الدخان الذي لا يحوي أي رطوبة أقل كثافةً من الهواء -بسبب الحرارة التي تكتنفه- لذلك يستوجب أن ترتفع طبقته عن طبقة الهواء الأكثر كثافةً.

قال ابن سينا: (طبقة بخارية، وطبقة هواء صرف، وطبقة دخانية. وذلك لأن البخار، وإن صعد في الهواء صعوداً، فإنه إنما يصعد إلى حد ما. وأما

الدخان فيجاوزه ويعلوه؛ لأنه أخف حركة وأقوى نفوذاً لشدة الحرارة فيه. وأعني بالبخار ما يتصعّد من الرطب، من حيث هو رطب، وأعني بالدخان ما يتصعّد عن اليابس من حيث هو يابس). (ابن سينا، الشفاء، السماء والعالم، 1969م).

لكن تقسيم ابن سينا مثالي جدّاً، بل ويناقض كلامه الذي طرحه سابقاً. فإذا كانت العناصر الأساسية في الكون -حسب وجهة نظره الأرسطية- لا يمكن أن تكون نقية تماماً، فكيف بالطبقة الوسطى (طبقة الهواء الصرف) لا يمتزج معها أي شيء لا من الطبقة التي أدناها ولا من الطبقة التي تعلوها؟! لذلك، ومن هذه الناحية يعتبر تقسيم إخوان الصفا لطبقات الغلاف الجوي وإدراكهم للعلاقة بين السطوح البينية لها أدق من تقسيم ابن سينا الذي لا يأخذ مسألة السطوح البينية بعين الاعتبار.

- **ابن الهيثـــم (القرن 5هـ/ 11م)**

ينبهنا الحسن بن الهيثم (توفي 430هـ/1038م) إلى أنّ خاصية الشفافية المتعلقة بالغلاف الجوي التي ذكرها إخوان الصفا ليست مطلقة، وإنما تتفاوت حسب كثافة الهواء. والدليل على ذلك أن ضوء الشمس عندما يخترق الغلاف الجوي سيعاني من انكسارات مختلفة وهو يعبره.

والفكرة التي أشار إليها ابن الهيثم تنطبق بشكل عام على مختلف الطبقات الجوية، لأن الهواء الأبعد عن سطح الأرض، والموجود في طبقات الجو العُليا، يعد أكثر شفافية وأنقى من الهواء القريب من سطح الأرض الذي يعد أقل شفافية وأكثر كثافةً واحتواءً للملوثات. (موسى، 2015م).



قال ابن الهيثم: (إن الهواء جسم مشف شديد الشفيف، إلا أنه ليس في غاية الشفيف بل فيه غلظ يسير. فإذا أشرق عليه ضوء الشمس نفذ الضوء فيه بحسب شفيفه، وثبت فيه من الضوء قدر يسير بحسب ما فيه من الغلظ اليسير). (ابن الهيثم، كتاب المناظر، 1983م).

كما أدرك ابن الهيثم، من خلال بحوثه في البصريات، أن كرة الهواء المحيطة بالأرض (الغلاف الجوي) لا يوجد فاصل يفصل بينها وبين كرة النار، وإنما يكون الهواء متدرجاً في كثافته من الأرض وحتى السماء، وهو استنتاج صحيح. لكن هذه الفكرة التي عارضها فيها كمال الدين الفارسي (توفي 718هـ/1319م) في كتابه (تنقيح المناظر)، حيث كانت تسيطر حتى عصر الفارسي نظرية العناصر الأربعة، لذلك فقد ظن الفارسي أن ابن الهيثم قد وقع في خطأ بإزالته للحد الفاصل بين كرة الهواء وكرة النار. (نظيف، ج2، 1943م).

من ناحية أخرى، يرى الباحث هـ. هوارد فرينزيفر H. Howard Frisinger أن ابن الهيثم قدم مساهمة مُهمَّة في تقديره لارتفاع كرة الهواء. حيث إن ابن الهيثم توصل إلى هذه القيمة عن طريق دراسة ظاهرة انكسار الضوء في الغلاف الجوي. وقال في كتابه (المناظر). (Alhazen, 1572). إن حدوث ظاهرة الشفق Twilight (ضوء العشاء) يعود إلى انكسار الضوء في الغلاف الجوي، وأن الشرط الأساسي لحدوثها هو زاوية غروب الشمس- تحديداً عندما تكون الشمس عند الدرجة 19 تحت الأفق -، واستخدم لذلك نظريات وبراهين هندسية لقياس ارتفاع الغلاف الجوي، حيث إنه حصل على القيمة (52000 ميل روماني = 78.4 كيلومتر) (Frisinger, 1973)، وهي قريبة جدّاً من القياسات الحديثة التي تقدر بالقيمة (85 كيلومتراً).

في حين أننا سنجد أن الأوربيين لم يتمكنوا من تقدير هذه السماكة إلا في القرن 17م على يد الفيزيائي الفرنسي آدمي ماريوط E. Mariotte (توفي 1664م)، ثم في القرن 18م على يد الفلكي الإنكليزي إدموند هالي E. Halley (توفي 1742م) كما سنرى ذلك لاحقاً عندما توفر لهم استخدام تجهيزات علمية وطرائق رياضياتية متقدمة لم تكن متاحة للحسن بن الهيثم.

- **البيروني (القرن 5هـ/ 11م)**

اقترح أبو الريحان البيروني (توفي 440هـ/ 1048م) تجربة تنمّ عن إدراكه المبكر للعلاقة بين التوازن بين ضغط الهواء والسائل في جرة، وذلك في محاولة منه تفسير الظاهرة الطبيعية التي تحدث في بحيرة سبزرود التي تقع بين مدينتي أبرشهر (نيسابور حالياً) وطوس (مشهد الرضا حالياً) في إيران، التي قطرها (5.9193 كيلومتر). هذه التجربة يمكن لأي شخص أن يجريها ويستفيد منها عمليّاً، لذلك يمكننا اعتبارها من التجارب العلمية الرائدة والسابقة لعصرها في الكشف عن وجود تأثير للضغط الجوي في الأجسام السائلة.

قال البيروني: (فأما الماء الذي على رأس الجبل بين أبرشهر وطوس وهو بحيرة استدارتها فرسخ وتسمى سبزرود. فلا يشك أن مادتها إما من خزانة أعلى منها ولو بعدت عنها والسيلان إليها يسير بقدر ما يكافئ نشف الشمس وتبخيرها منها فلذلك يبقى على حاله راكداً وإما من خزانة موازية لها فلا يزداد عليها وإما أن في مخارجها سبب شبيه بالذي في مياه الدَّحَّج والسراج الخادم نفسه، وهو أن يؤخذ جرة الماء أو دبة الدهن وتثلم في عدة مواضع من



شفتها ثلماً لطافاً وتثقب ثقبة ضيقةً أسفل من فمها بالقدر الذي يقترح أن يبقى الماء في الآنية أو الدهن في السراج، ويملأ وينكّسُ الجرة في الطشت والدبة في السراج فإنّ الماء والدهن يخرج بالثلم حتى يعلو الثقبة فقط ثم إذا فني منه ما تكاد الثقبة أن تظهر خرج منه ما يجفها فيبقى لذلك على حالةٍ واحدةٍ). (البيروني، الآثار الباقية ....، 1878م).

فالبيروني يطرح هنا تفسيره لسبب وجود الماء في البحيرة هو أحد ثلاثة:

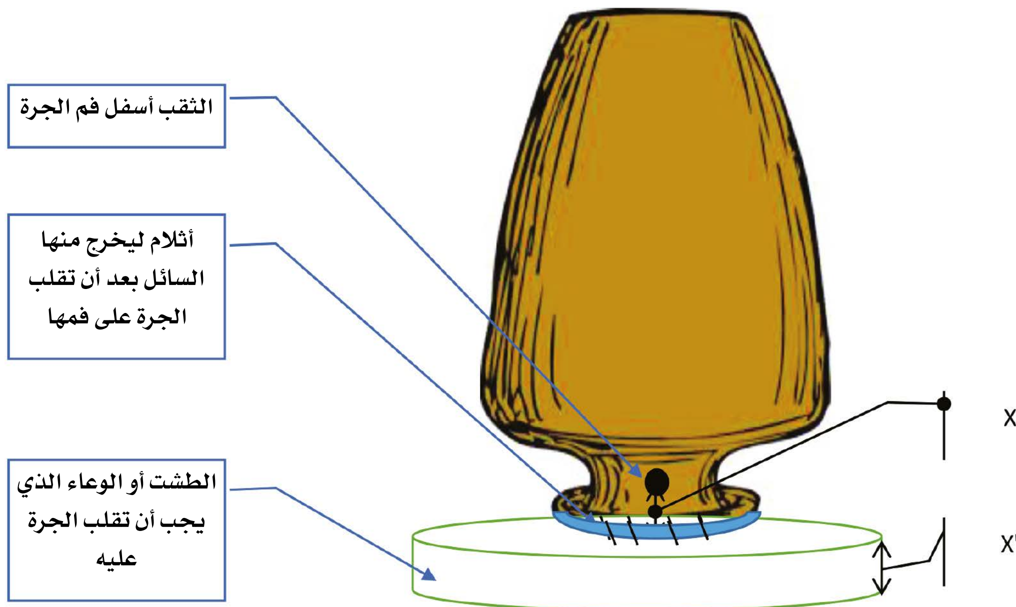
1. إما من مستودع أعلى من مستواها يزودها بالماء بقدر ما تجفف الشمس منها.

2. إما من مستودع موازٍ لها.

3. إما أنها تعمل على مبدأ التفاوت بين ضغط المياه المسحوبة كما هو الحال في الجرة المملوءة بالماء والمقلوبة على فمها على طشت وفيها ثقب حيث يخرج من الثقب مقدار ما يجففه الهواء. وذلك بسبب الضغط الجوي الذي يطبّق على الطشت كما هو معروف حالياً.

تشبه هذه التجربة من ناحية منهجيتها العلمية وتصميمها كثيراً التجربة التي أجراها الفيزيائي الإيطالي إيفانجليستا تورشيللي E. Torricelli (توفي 1648م) في القرن 17م؛ لكن الفرق بين تجربة تورشيللي وتجربة البيروني هو تصميم تورشيللي لأنبوب زجاجي مدرج وضع بداخله زئبق وقلبه على طشت فيه زئبق، علماً أنه قبل أن يستخدم الزئبق استعان بالماء أيضاً. في حين أن البيروني استخدم الماء فقط وتلمس حالة التوازن من خلال وصول الماء إلى الثقب الذي أحدثه أسفل فم الجرة.

وحتى تكون فكرة الحالة الأخيرة التي طرحها البيروني واضحة للقُرَّاء، فإننا سنقوم برسمها كما في الشكل الآتي:



رسم توضيحي للفكرة التي تكلم عنها البيروني، حيث إن التوازن بين السائل داخل الجرة والذي في خارجها يكون عند الثقب، طبعاً مع أخذ الضغط الجوي على السائل في الوعاء بعين الاعتبار، لذلك فإن عمق الطشت يساوي بُعْد الثقب عن فم الجرّة (X=X').





يستخدم اليوم مبدأ الجرة الذي تحدّث عنه البيروني في أجهزة سقيا الماء للطيور.

(https://latulippe.com/fr/produit/221882/bain-pour-oiseaux-nn3004)

- **ابن ملكا البغدادي (القرن 6هـ/ 12م)**

وجد ابن ملكا البغدادي (توفي 560هـ/ 1165م) أن يضيف عنصر (الثلج) بدلاً من العنصر الخامس (الأثير) الذي كان في منظومة أرسطو، وذلك نظراً إلى أن كثافته تكون وسطاً بين كثافة عنصر الأرض وعنصر الماء. إذْ يبدو أن (الأثير) كان عصياً على تصور تأثيره في الظواهر الجوية أو معرفة طبيعته، في حين أن الثلج أصله من الماء لكنه يتخذ شكلاً وبنيةً مادية يمكن تصوّرها. لكنه اعترف بالطبائع الأربعة كما وردت عند أرسطو دون أي تعديل عليها، خصوصاً بعد إضافة (الثلج) إليها.

الإشكالية في إضافة ابن ملكا هي كيف يمكن لعنصر (أساسي) وهو الثلج أن يكون مشتقاً من عنصر (أساسي آخر) وهو الماء. بمعنى أنه لم يضع مبرراته في جعل (الثلج) عنصراً أساسيّاً بدلاً من الأثير؛ لأن أفلاطون وأرسطو عندما اتفقا في جعل الأثير عنصراً كونيّاً أساسيّاً كان مبررهما هو أنه يشكل مادة النجوم التي ترصع الكرة الأخيرة في الكون. في حين أن بقية العناصر الأخرى وطبائعها تشكل المواد التي نستشعرها بحواسنا.

قال ابن ملكا: (العناصر أربع هي: الأرض والماء والهواء والنار. فالأرض أكثفها، ويليها الماء، والنار ألطفها، ويليها الهواء، ونرى خامساً هو الثلج فإنه في الكثافة بين الأرض والماء. وقيل إن طبائعها أربع: حرارة، وبرودة، ورطوبة، ويبوسة). (البغدادي، ابن ملكا، المعتبر في الحكمة، ج2، 1939م).

وقد وجد ابن ملكا أن الهواء يتأثر بعوامل الجو حيث إنه (يسخن ويبرد أيضاً ويمتزج بالماء والأرض فيكون هو الغالب على كل خفيف من الممتزجات حيث

يطفو على الماء كالخشب وغيره ويستحيل الماء بالبرد، فيجمد ثلجاً وبالحرارة يذوب فيعود ماءً). (البغدادي، ابن ملكا، المعتبر في الحكمة، ج2، 1939م).

ولا يعتقد أنه يمكن أن يتحول الماء إلى الهواء أو بالعكس بشكل طبيعي، وإنما يحتاج الماء إلى التسخين والحرارة بحيث تتفكك جزيئاته، وتتفرق عن بعضها عندها ينتشر في الهواء ويصعب تمييزه عن الهواء. وهذا يعني أن بخار الماء شيء والهواء شيء آخر، فالسحاب ينتج عن بخار الماء وليس عن الهواء. وهذا خروج آخر على طرح أناكساغوراس، الذي لم يكن يميز بين الهواء والأثير أو بين الهواء وبخار الماء.

قال ابن ملكا: (أما أن الماء يستحيل هواءً، والهواء يستحيل ماءً فلا، بل إذا سخّن الماء تتصعّد أجزاؤه وتتفرق وتتبدد رذاذاً في الهواء فيخفى ويعسر على أبصارنا تمييز قليله ومتفرقه عن الهواء. وأما كثيره ومجتمعه فهو الذي يكثّف الهواء ويغلظه بعد إشفافه ولطفه فيصير سحاباً وغيماً. ولذلك يعود إذا برد هابطاً فيقطر مطراً؛ لأن صعوده كان من ضيق جامع إلى سعة مفرقة كما عرفت، وهبوطه بالعكس من سعة مفرقة إلى ضيق جامع). (البغدادي، ابن ملكا، المعتبر في الحكمة، ج2، 1939م).

- **ابن رشد (القرن 6هـ/ 12م)**

لم يأخذ ابن رشد (توفي595هـ/ 1198م) لا بتقسيمات إخوان الصفا لطبقات الهواء ولا بتقسيمات ابن سينا القائمة على أساس حراري، وإنما اعتبر طبقة الهواء تحوي على طبقتين فقط:

- إحداهما تكون فيها المذنبات والشهب.

- والأخرى تتكون فيه بقية المظاهر الجوية. وتتقسم الطبقة الثانية بدورها إلى طبقتين فرعيتين:

1. عُليا: يتشكل فيها المطر والثلج والبرَد.

2. سفلى: يتشكل فيها الندى والجليد.

قال ابن رشد: يوجد في الهواء (موضعين: أحدهما الموضع الأعلى وهو الذي تتكون فيه ذوات الأذناب والشهب. والثاني الذي تتكون فيه الأمطار والثلج والجليد والبرد وهذه مترتبة أيضاً في هذا المكان، أما الأعلى منه فللمطر والثلج والبرَد، وأما الأسفل فللندى والجليد). (ابن رشد، رسائل فلسفية، 1994م).

- **القزويني (القرن 7هـ/ 13م)**

عرّف أبو عبد الله زكريا القزويني (توفي 681هـ/ 1283م) الهواء بأنه مادة غير مركبة من غيرها من المواد (أي أنه مادة بسيطة)، طبعاً دون أن يخوض في طبيعة تلك المادة. وإنما انتقل مباشرةً إلى خصائصها وطباعها من ناحية الشفافية للضوء والرطوبة والحرارة وموقع الحركة. وواضح من هذا التعريف التأثر بالنظرية الأرسطية.

قال القزويني: (الهواء جرم بسيط طباعه أن يكون حاراً رطباً شفافاً متحركاً إلى المكان الذي تحت كرة النار وفوق الماء). (القزويني، عجائب المخلوقات ....، «د.ت»).



• المبحث الرابع: الأوربيـــــــــــــون

لقد بقي النظام الذي أنشأه أرسطو لمدة ألفي عام بمثابة معيار للنصوص العلمية، بحيث إن جميع الكتب في القارة الأوربية -التي عالجت موضوع الغلاف الجوي حتى أوائل القرن السابع عشر- كانت تستند أساساً إلى آراء أرسطو، بينما كان نفوذه في إنكلترا أصغر بكثير. (Neves et al, 2017).

إذْ مع تطوير مقاييس الحرارة والضغط والرياح وعلم الخرائط في أوربا بدأت تأخذ دراسة الغلاف الجوي منحاً أكثر تقدماً في أوربا. فقد وضع غاليليو غاليليه Galileo Galilei (توفي 1642م) مكشافه الحراري عام 1593م، وأجرى تجربته على قياس وزن الهواء، وبعده بنصف قرن، أي عام 1643م صمم تورشيللي مقياس الضغط الزئبقي، وفي عام 1688م وضع إدموند هالي إحدى أقدم الخرائط الجوية، ثم وضع الأميرال روبرت فيتزروي R. Fitzroy (توفي 1865م) بعض القوانين الخاصة بالضغط الجوي. (محمد، صباح محمود، الطقس والمناخ).

أما بخصوص التمييز بين (الهواء) و (البخار) عند الأوربيين فلم يحدث ذلك إلا في عام 1615م، وذلك بعد أن تم الإثبات عملياً أن قوة ضغط البخار تفوق كثيراً قوة ضغط الهواء. حيث إن أعمال الإيطاليين جيرولامو كاردانو G. Cardano (توفي 1576م) وجيامباتيستا ديلا بورتا G. della Porta (توفي 1615) هي التي جعلت المهندس الفرنسي سولومون دي كاو S. de Caus (توفي 1626) يجزم بأن البخار ليس إلا ماء تبخر وسيعود سيرته الأولى بعد أن يتم تبريده. (فارنتن، ج2، 2011م).

- **روجر بيكون (القرن 13م)**

عُرف عن روجر بيكون R. Bacon (توفي 1292م) دعوته الحثيثة إلى التجريب والتقريب الرياضياتي في جميع ميادين الدراسة العلمية. فقد استطاع أن يثبت أن الغلاف الجوي له طبقات من الهواء بكثافات مختلفة، واقترح أن تكون مناطق المناخ في بطليموس خاضعة للتصحيح، وذلك بسبب التأثيرات الطوبوغرافية. (Neves et al, 2017).

- **روبرت بويـــل (القرن 17م)**

لقد أدت صياغة روبرت بويل R. Boyle (توفي 1631م) للقانون الذي يربط حجم وضغط كمية الغاز إلى سلسلة من المحاولات للتأكد من الارتفاع الذي يمتد إليه الغلاف الجوي فوق سطح الأرض، وكيف يتفاوت الضغط الجوي مع الارتفاع (Wolf, 1962)، خلال القرنين السابع عشر والثامن عشر.

- **غاليليـــو (القرن 17م)**

لقد كان غاليليو غاليليه مناهضاً شرساً للأفكار الأرسطية. فعندما طرح أرسطو مبدأ (إن الطبيعة تكره الفراغ) وجد أتباعه أن هذا المبدأ يعجز عن تفسير لماذا (ينتهي هذا الكره الطبيعي للفراغ) بعد الارتفاع لعشرة أمتار في الجو. لذلك، وفي إطار اختباره لكل الأفكار الأرسطية والتحقق من مدى صحتها، أجرى التجربة الآتية: أحضر ميزاناً ووضع في إحدى كفتيه كومةً من

الرمل، وفي الكفة الأخرى قارورةً فيها هواء محكمة الإغلاق. تحت ضغط الهواء العادي كانت كومة الرمل أثقل من القارورة. ثم نفخ المزيد والمزيد من الهواء في القارورة ووضعها على كفّة الميزان حتى رجحت كفة القارورة على كفة الرمل، ومن ذلك توصل إلى أن للهواء وزنًا. (يمين، 1989م).

• جان بابتسيت فان هلموت (القرن 17م)

قام الكيميائي والطبيب البلجيكي جان بابتسيت فان هلموت J. B. van Helmont (توفي 1644م) بأول خطوة في الكشف عن حقيقة أنّ الهواء يتكوّن من أكثر من غاز. لكن الأمر تطلب منه في البداية أن يرفض نظرية أرسطو المتعلق بالعناصر الخمسة والخصائص المتعلقة بها.

فقد حاول فان هيلمونت أن يؤكد أن النار ليست عنصراً ولا الأرض كذلك؛ لأن الأرض يمكن أن تختزل إلى الماء. وقد اعتبر الهواء مجرد مصفوفة أو بنية مادية تحوي على مواد مختلفة ولكنها لا تتفاعل معها، وإنما يخضع الماء لتغير كيميائي. حتى يتجنب الصراع مع الكنيسة بحث عن دعم لهذا الرأي في الكتاب المقدس (سفر التكوين)، واقترح سلسلة من العمليات التي تحول المياه من أي مادة إلى أخرى. وحتى يثبت صحة فرضيته بأن كل شيء مصنوع من الماء، قام فان هيلمونت بوزن شجرة صفصاف صغيرة قبل أن يزرعها في وعاء يحوي على كمية من التربة سبق وأن وزنها. أبقى الشجرة في وعائها لمدة خمس سنوات، كان يغذيها بالماء فقط. في نهاية السنوات الخمس قام بوزن الشجرة والتربة مرة أخرى. ووجد أن الشجرة قد أصبح وزنها 74.5 كيلو جرام، أما التربة فقد

فقدت 57 جراماً فقط. اعتبر هذا بمثابة دليل على أن الشجرة حولت الماء إلى مادة خاصة بالشجرة. (كان مخطئاً بالطبع؛ لأنه لم يجري اكتشاف التمثيل الضوئي بعد). (Allaby, 2009) .

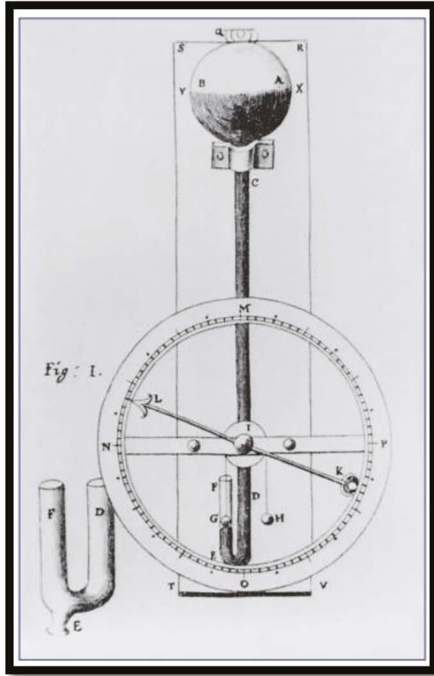
كان فان هيلمونت دقيقاً في تجاربه. فقد تحرر عن بعض تجاربه أبخرة، وقد اعترف بها على أنها مواد مستقلة، لكل منها خصائصه الخاصة. بمجرد تحريرها، توسعت هذه المواد بسرعة لملء أي وعاء دخلته. واعتبر أن هذا يعني أنها موجودة في حالة لا أساس لها ووصفها بالكلمة اليونانية (خاوس khaos)، وقد أعلن أنها تمثل مصطلح غاز gas، لكن لم يكن مفهومه للغاز كما هو حالياً في الأدبيات العلمية الحديثة، وإنما كان يعتقد أن كل غاز يصنع من المادة نفسها، ولكن يتم تعديله من خلال العمليات التي يخضع لها، وأن كل مادة طبيعية تحوي على غاز، يمكن إطلاقه إذا تم تسخين المادة. ولإثبات ذلك، أحرق فان هيلمونت 28 كيلوجراماً من الفحم، فتبقى منه 1 كيلوجرام من الرماد. وافترض أن الفحم المتبقي قد تم إطلاقه بهيئة غاز، وأطلق عليه اسم «غاز سلفستر»، من كلمة (sylva) اللاتينية التي تعني الخشب. وقد وجد الغاز نفسه ينبعث عندما يتخمر النبيذ والبيرة. (اسمه الحديث هو ثنائي أكسيد الكربون). (Allaby, 2009).

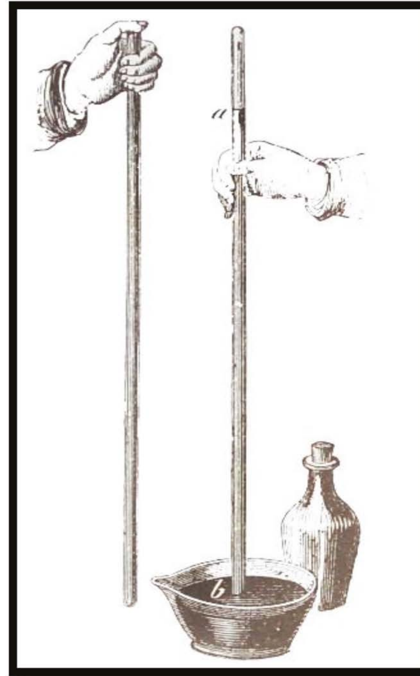
إذاً أراد فان هيلمونت أن يخرج على الفكر الأرسطي، لكنه في الوقت نفسه كان حَذِراً في تجاربه، خوفاً من أن يغضب الكنيسة ويقع في ما لا تحمد عقباه. إلا أن الخطوة التي قام بها- وعلى تعثّرها في جميع الأحوال- مُهمَّة في تقدم المعرفة والبحث في مكونات الهواء.

- **إيفانجليستا تورشيللي (القرن 17م)**

تجربة غاليليو السابقة في التقرير بأن للهواء وزناً سيأتي تلميذه إيفانجليستا تورشيللي ليكملها لكن بطريقة أخرى، ويفترض أنه طالما للهواء وزن فإن هذا يعني أنه يمارس ضغطاً على الأجسام التي تقع ضمنه. حتى يثبت صحة فرضيته تلك، قام بإجراء عددٍ من التجارب سنتناول أشهرها.

أدخل تورشيللي أنبوباً فارغاً في بئر، فلاحظ أن الهواء المحيط يضغط على ماء البئر ويجعله يدخل الأنبوب. واستنتج من ذلك بأن الضغط الجوي لم يكن كافياً ليدفع الماء أكثر من عشرة أمتار في الجو. ثم وفي تجربة لاحقة قام باستبدال الماء بالزئبق، الذي يفوق بكثافته الماء بحوالي 15 مرة. فأخذ أنبوباً صغيراً من الزجاج، طوله 120 سنتيمتراً، وختم أحد طرفيه وملأه بالزئبق، ثم وضع إصبعه على الطرف المفتوح وقلب الأنبوب وغطسه بوعاء ممتلئ بالزئبق أيضاً، وإذ به يلاحظ انحدار الزئبق مسافة 34 سنتيمتراً، واستقر على ارتفاع 76 سنتيمتراً. وهذا يعني أن الهواء قد مارس ضغطاً على مستوى صفحة الإناء قدره 76 سنتيمتراً زئبقيّاً. فوصل بنتيجة هذه التجربة أن للهواء ضغطاً ومحدداً بالقيمة السابقة، وقد ألهمت هذه التجربة صانعي المقاييس لصنع مقياس للضغط الجوي وفق الترتيب الذي وضعه تورشيللي (يمين، 1989م)، الذي سيطلق عليه اسم (البارومتر Barometer) المشتق من الكلمة (بارو) اليونانية التي تعني (الوزن) و(متر) التي تعني (القياس)، وعلى هذا نستنتج أن المعنى الأساسي لمقياس الضغط الجوي هو الدلالة على وزن الهواء الذي يمارس على وحدة السطح.





(إلى اليمين) كتب تورشيللي ذات يوم يقول: (إننا نعيش في أوقيانوس (أي محيط) من الهواء)، وقد سبق إخوان الصفا قوله هذا عندما قالوا: (إن الهواء بحر واقف). (إخوان الصفا، مجلد2، «د.ت»). وقد أثبت أن لهذا المحيط ضغطاً من خلال جهازه البسيط الذي يشابه كثيراً -من حيث المبدأ- جهاز البيروني، طبعاً مع وجود فارق بالمواد المستخدمة بينهما، كما ذكرنا سابقاً (يمين، 1989م). (إلى اليسار) فيما بعد قام الفيزيائي البريطاني روبرت هوك (توفي 1704م) R. Hooke بإضافة عجلة مدرّجة لقراءة قيمة الضغط في أي مكان بدلاً من الاعتماد على التقدير البصري في القياس. أي أنه حوّل الحركة الرأسية للزئبق في الأنبوب إلى حركة دوارة للإبرة. (Allaby, 2009).



وقد أبرزت الاعتبارات الأساسية المتعلقة بسجلات الأرصاد الجوية الآلية الأولى دور البارومتر. حيث إن النجاح والتوقعات التي أثارها البارومتر قابلة للمقارنة وربما أكثر من تلك التي تنتجها أدوات أخرى في ذلك الوقت، مثل: المجهر، والتلسكوب. فقد كان للبارومتر هدفان أساسيان: معرفة حالة الطقس، وحساب ارتفاع الجبل. ومع ظهور أدوات القياس الأخرى، نما المفهوم الشائع بأن الطريق إلى التقدم في مجال الأرصاد الجوية يعتمد فقط على الأدوات والتجارب الجديدة التي توفر بيانات أكثر دقة وأكبر. (Neves et al, 2017).

- **برنارد فارين (القرن 17م)**

لقد نشأ المظهر الأول لكلمة (المناخ Climate) في عمل الجغرافي الألماني برنارد فارين B. Varen (توفي 1650م) في سياق التفسيرات السببية والظرفية (التأثيرات المحلية) للارتباط مع أنماط الرياح. حيث قدم فارين تقسيماً للغلاف الجوي بين المستوى الأعلى والمتوسط والسفلي، وتصنيفه على ما يبدو بهذه الطريقة بسبب الظواهر الملاحظة على ارتفاعات مختلفة. (Neves et al, 2017).

- **بليز باسكال (القرن 17م)**

التجربة التي أجراها تورشيللي في إيطاليا، وجدت صداها في فرنسا لدى العالم بليز باسكال B. Pascal (توفي 1662)، الذي كان مهتماً آنذاك بموضوعات فيزياء الموائع، فكان منه أن طوّر تجربة تورشيللي بأن أخذ أنبوبين من الزجاج بطول 14

متراً، وملأ الأول بالماء والآخر بخمر لونه أحمر، فلاحظ أن وزن الهواء في الظروف العادية يتحمل ضغط عشرة أمتار الماء (وأكثر بقليل من الخمر)، كما يتحمّل ضغط قدره 76 سنتيمتراً زئبقيّاً. واستنتج أيضاً أن أي تغيير في الارتفاع عن سطح الأرض يسبب تغييراً في مقدار الضغط الجوي. حيث إنه وصل إلى نتيجته السابقة بالتعاون مع أحد أقربائه اسمه فلورين بيريه، الذي وضع بارومتراً أسفل جبل بوي-دي دوم، وآخر على ارتفاع 1000 متر، فكانت النتيجة أن انخفضت القراءة على المقياس المرتفع بمقدار 7.5 سنتيمتر عن مستواه. وقد علق بيريه قائلاً: (إن هذا الأمر يملؤنا دهشة وإعجاباً...). (يمين، 1989م).

كان باسكال يدرك تماماً أهمية عمله ليس بالنسبة لعلم الأرصاد الجوية وحسب وإنما لعلم قياس الحرارة. في أطروحته عن (وزن وكتلة الهواء) المنشورة في عام 1663م، بعد سنة من وفاته، صرح بأن تجاربه عن الضغط الجوي المتغير تبين بأن (درجات الحرارة لم تتم إشارتها بشكل صحيح حيث إن لها ارتفاعات مختلفة الذي عنده عمود الماء يقف وهذا يعود إلى التخلخل أو تكثيف الهواء داخل الأنبوب، في حين أننا نتعلم من خلال تجاربنا بأن التغيرات التي تطرأ في الهواء الخارجي، أي: في كتلة الهواء، تسهم لدرجة كبيرة على تلك التغيرات). ثمّ نقرأ مجدداً، في (قصة التجربة العظيمة عن توازن السوائل) المنشورة في الوقت نفسه، بأن نتيجة الضغط الجوي المتغير هي (غير موثوقة من مقياس حرارة في تأشير درجات الحرارة، التي لم يتم التعرف عليها عموماً، كما تبينه في الحقيقة بأن سائله يرتفع أحياناً عندما تزداد الحرارة، وعلى العكس أحياناً تهبط حين تتناقص، حتى من خلال مقياس الحرارة الذي يكون باقٍ بالموقع ذاته). (Barnett, 1956) .

وهكذا بدأت عملية الربط بين ارتفاع درجة الحرارة وانخفاضها مع الضغط. بمعنى أن الضغط الجوي المنخفض يحدث عندما ترتفع درجة الحرارة، إذ يؤدي هذا إلى تسارع جزيئات الهواء وابتعادها عن بعضها، ويتكون الضغط الجوي المرتفع عندما تنخفض درجة الحرارة، إذ يؤدي ذلك إلى بطء جزيئات الهواء واقترابها من بعضها.

• آدمي ماريوط (القرن 17م)

حتى يدرك مدى ارتفاع الغلاف الجوي، بمعنى مقدار سماكة الغلاف الجوي -الذي سبق وأن وجد قيمته التقريبية الحسن بن الهيثم- قسّم الفيزيائي الفرنسي آدمي ماريوط الغلاف الجوي، وذلك في كتابه (مناقشة طبيعة الهواء Discours de la nature de l'air)، إلى 4032 جزءاً بحيث تكون كل الطبقات ذات الأوزان المتساوية، ويمثل كل منها بمقدار واحد إلى اثني عشر خطاً من ارتفاع البارومتر الطبيعي البالغ 71.12 سنتيمتر. ومن تجاربه الخاصة خلص إلى أن سمك أخفض طبقة من هذه الطبقات هو 150 سنتيمتراً. ومن ثم، ناقش بأن سمك الطبقة 2016 متراً فوق سطح الأرض (التي يكون لها أقل من نصف الضغط عند مستوى الأرض) سيكون 30 متراً. وقد أدرك ماريوط أن الطبقات المتداخلة ستزيد على شكل متوالية هندسية، لكنه افترض من باب التبسيط أن متوسط سمكها هو المتوسط الحسابي من 1.5 متر و 30 متراً؛ أي 15.75 متر، وهذا يعني أن ارتفاع النصف السفلي من الغلاف الجوي هو: 15.75× 2016 = 31752 متراً. وبطريقة مماثلة حسب النصف العلوي للغلاف الجوي ومرة أخرى حصل على القيمة 31752 متراً. يمكن بالطبع

أن تستمر هذه العملية لأجل غير مسمى. فإذا أجرينا اثني عشر من التطبيقات المتتالية من ذلك نحصل على أن قيمة ارتفاع الغلاف الجوي حوالي 56 كيلو متراً. وقد تبنى ماريوط هذا الحد الأدنى لارتفاع الغلاف الجوي، إذْ لم يكن لديه أي دليل على أن الهواء سيتوسع إلى ما بعد درجة انكسار أشعة الشمس الداخلة التي ستكون عليها عند هذا الارتفاع. (Wolf, 1962).

- **روبرت هوك (القرن 18م)**

اعتماداً على قانون بويل الذي يربط حجم وضغط كمية الغاز، قام روبرت هوك R. Hooke (توفي 1703م) عام 1665م، بمناقشة تحديد ارتفاع الغلاف الجوي فوق سطح الأرض وذلك في كتابه (ميكروغرافيا). حيث إنه افترض وجود عمود رأسي من الغلاف الجوي مقسّم إلى 1000 وعاء، يحوي كل منها على كميات متساوية من الهواء. ثم قام بحساب كثافة الهواء على مستوى سطح الأرض، حيث إنّ كل طبقة من هذه الطبقات يجب أن تمارس الضغط نفسه كطبقة من الهواء يبلغ ارتفاعها 10.5متر لها تلك الكثافة، بحيث يكون البارومتر عند ارتفاعه الطبيعي. ومن قانون بويل حسب هوك سمك كل طبقة وفق ترتيب تصاعدي من الأرض إلى الطبقة رقم 999. غير أنه لم يحاول جمع هذه السماكات، لأنه كان يدرك أن الطبقة رقم 1000 يجب أن تكون ذات سماكة لا نهائية. (وبما أننا لا نستطيع حتى الآن العثور على الزيادة الفائقة، التي لن يتوسع بعدها الهواء، فإننا لا نستطيع تحديد ارتفاع الهواء). وذكر هوك أنه وجد الضغط في أعلى برج كنيسة القديس بول أقل بشكل معقول من الضغط على ارتفاع 30 سنتيمتراً. (Wolf, 1962).



إدموند هالي (القرن 18م)

عالج إدموند هالي مشكلة تحديد ارتفاع الغلاف الجوي في عام 1686م، وقد نجح بشكل أكبر من ماريوط وهوك. أساس طريقته هو المماثلة بين قانون بويل الذي يربط بين الضغط و (التمدد)، أو الحجم لكمية من الغاز، والقانون الذي يربط بين إحداثيات نقطة على القطع الزائد التي تشير إلى الخطوط المقاربة لها. وبعد إجراء عدد من الحسابات توصل إلى الصيغة الرياضياتية الآتية:

$$H = A \log_{10}$$

حيث إنّ: b الضغط عند الارتفاع H، B الضغط عند مستوى سطح الأرض، دون أخذ درجة الحرارة بعين الاعتبار. أما A فهو ثابت يحسب من الكثافة الطبيعية للهواء عند مستوى سطح الأرض، وهو يحوي على معامل تحويل اللوغاريتم الطبيعي إلى اللوغاريتمات الشائعة. ومن هذه الصيغة، تمكن هالي بمساعدة جدول لوغاريتم شائع من جدولة الارتفاع مقابل الضغط والضغط على الارتفاع، وبالتالي حصل على تقدير تقريبي لمدى ارتفاع الغلاف الجوي للأرض. ووجد أنه من المفترض ألا يتجاوز ذلك 72 كيلومتراً، بافتراض أنه لا يمكن للهواء أن يتخلخل إلى أكثر من 3000 مرة من حجمه عند مستوى الأرض. وقد توافق هذا الارتفاع مع التقديرات التي تعتمد على أساس مدة الشفق (Wolf, 1962). كما أننا نجده قريباً جدّاً من القيمة التي حصل عليها الحسن ابن الهيثم الذي سبقه بحوالي ستمائة سنة.

- **جون دالتون (القرن 19م)**

في 21 أكتوبر/ تشرين الأول من عام 1803م، نشر الفيزيائي والكيميائي جون دالتون J. Dalton (توفي 1844م) بحثاً بعنوان: (امتصاص الغازات بالماء والسوائل الأخرى)، والذي وصف فيه ما يعرف الآن بقانون الضغط الجزئي لدالتون. حيث إن الهواء، أو أي خليط آخر من الغازات، يمارس ضغطاً. ينص قانون دالتون على أن الضغط الكلي الذي يمارسه الخليط يساوي مجموع الضغوطات التي يمارسها كل مكون من مكونات الخليط بشكل فردي. ويعرف هذا بالضغط الجزئي لكل مكون، ويتناسب مع كمية هذا المكون الذي يحتوي عليه الخليط. وقد درس دالتون التبخر والتكثيف والضغط الذي يمارس في درجات حرارة مختلفة بواسطة بخار الماء والغازات الأخرى. ووجد أن أي غاز - الذي أطلق عليه اسم مائع مرن - يمكن تحويله إلى سائل عن طريق خفض درجة الحرارة أو زيادة الضغط بدرجة كافية. كما أشار إلى أن الضغط الذي يمارسه كل غاز أو خليط من الغازات يتغير بنفس المعدل لتغير مماثل في درجة الحرارة. وهي التجربة التي سبق وأن حاول أن يقوم بها أناكساغوراس منذ القرن 5 ق.م وفشل بها.

مع أن دالتون نشر حول الطقس والأرصاد الجوية في عام 1793م، لكن أعماله لم تحظ بالقبول بشكل جيد. (Allaby, 2009).

- **جون هرشل (القرن 19م)**

كان من المفترض أن يقدم جون هرشل J. Herschel (توفي 1871م) أفضل تعبير له بنظرة عامة على الأرصاد الجوية في كتابه (الأرصاد الجوية). إلا أنه في هذا العمل، وصف الأرصاد الجوية بأنها جزء من علم ديناميكي، فإذا كان الجو غير متحرك، يمكن للشخص معرفة أسبابه. مع ذلك، فرض هرشل عمداً رؤيته على الأرصاد الجوية، مع الأخذ بعين الاعتبار أن الغلاف الجوي سائل كيميائي فيزيائي يتم دراسته على أساس الملاحظة الدقيقة وترتكز عليها النظرية الميكانيكية. ولتحقيق هذه الغاية، وضع هرشل خطوتين لبناء نظرية عن الأرصاد الجوية:

1. النظر في العوامل أو الأسباب التي يمكن أن تساعد في إنتاج ظاهرة معينة.

2. النظر في القوانين التي يمكن أن تنظم عمل هؤلاء الوكلاء.

وهكذا، فقد كان هرشل ينوي بناء اعتبارات نظرية حول الدوران العام والعواصف والرياح التجارية، وصولاً إلى -على ما يبدو- أول تقدير تقريبي لمفهوم (الكتل الجوية). وبالإضافة إلى ذلك، كان قد وضع نظرية متماسكة للأمواج في الغلاف الجوي، مع أنه لم يتمكن من إثبات ذلك، مع أنه كتب مرة أخرى عن (الكتل الهوائية) في عام 1857م، وربط معايير الرياح مع المعايير البارومترية، وأن هذا التنوع سيكون مسؤولاً عن الحركة المتموجة للهواء. (Neves et al, 2017).

المراجـــع العربيـــــة

الأحيدب، إبراهيم بن سليمان بن حسن، المدخل إلى الطقس والمناخ والجغرافيا المناخية، ط1، الرياض، 2004م.

إخوان الصفا، رسائل إخوان الصفا، مجلد2، دار صادر، بيروت، (د.ت).

البغدادي، عبد القاهر، أصول الدين، إستانبول، 1928م.

البغدادي، عبد اللطيف، الإفادة والاعتبار في الأمور المشاهدة والحوادث المعاينة بأرض مصر، ط1، مطبعة وادي النيل، القاهرة، 1869م.

البغدادي، عبد المؤمن، مراصد الاطلاع على أسماء الأمكنة والبقاع، تحقيق: السيد علي محمد البجاوي، ط1، ج2، دار الجيل، بيروت، 1992م.

البيروني، أبو الريحان، تحديد نهايات الأماكن لتصحيح مسافات المساكن، تحقيق: ب. بولجاكوف، نشرها معهد المخطوطات العربية في مجلته، المجلد 8، 1962م، وقد أعاد معهد المخطوطات العربية بجامعة فرانكفورت بإعادة نشرها ضمن سلسلة الجغرافيا الإسلامية المجلد 25، 1992م.

البيروني، أبو الريحان، تحقيق ما للهند من مقولة مقبولة في العقل أو مرذولة، ط2، عالم الكتب، بيروت، 1982م.

البيروني، أبو الريحان، الجماهر في معرفة الجواهر، دائرة المعارف العثمانية، حيدر آباد الدكن، 1939م.

البيروني، أبو الريحان، القانون المسعودي، ج1، ط1، حيدر آباد الدكن بالهند، 1952م.

بيكون، فرنسيس، الأورغانون الجديد، ترجمة: عادل مصطفى، رؤية للنشر والتوزيع، القاهرة، 2013م.

التميمي المقدسي، محمد بن حمد، مادة البقاء، تحقيق: يحيى شعار، ط1، معهد المخطوطات العربية، القاهرة، 1999م.

جابر بن حيان، مختار رسائل جابر بن حيان، عني بتصحيحها ونشرها: بول كراوس، مطبعة الخانجي، القاهرة، 1935م.

ابن رشد، تلخيص الآثار العلوية، تحقيق: جمال الدين العلوي، ط1، دار الغرب الإسلامي، بيروت، 1994م.

سارتون، جورج، تاريخ العلم، ترجمة: لفيف من العلماء، ج3، ط1، المركز القومي للترجمة، العدد 1638، القاهرة، 2010م.

سزكين، فؤاد، تاريخ التراث العربي (أحكام التنجيم والآثار العلوية)، ط1، المجلد 7، ترجمة: عبد الله حجازي، جامعة الملك سعود، الرياض، 1999م.

سزكين، فؤاد، تاريخ التراث العربي (علم الفلك حتى نحو 430 هـ)، مجلد6، ج1، ترجمة: عبد الله حجازي، جامعة الملك سعود، الرياض، 2008م.

أبو سعد الآبي، منصور بن الحسين الرازي، نثر الدر في المحاضرات، ج6، تحقيق: خالد عبد الغني محفوظ، دار الكتب العلمية، بيروت، 2004م.

ابن سينا، أبو عليّ، الإشارات والتنبيهات، ج2، تحقيق: سليمان دنيا، دار المعارف، ط2، القاهرة، 1983م.

ابن سينا، أبو علي، الشفاء (الطبيعيات)، تحقيق: محمد رضا مدور، إمام إبراهيم أحمد، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1980م.

ابن سينا، الشفاء – الطبيعيات، المعادن والآثار العلوية، ج2، ط2، تحقيق: محمود قاسم، منشورات مكتبة آية الله العظمى المرعشي النجفي الكبرى، قم، 2012م.

فاخوري، محمود وخوام، صلاح الدين، موسوعة وحدات القياس العربية، ط 1، مكتبة لبنان ناشرون، بيروت، 2002م.

فارنتن، بنيامين، العلم الإغريقي، ترجمة: أحمد شكري سالم، ط1، ج1، المركز القومي للترجمة، القاهرة، 2011م.

القزويني، زكريا بن محمد، آثار البلاد وأخبار العباد، دار صادر، بيروت، (د.ت.).

القزويني، زكريا بن محمد، آثار البلاد وأخبار العباد، إعادة طبعة جوتنجن، نشر فردناند فستفيلد، منشورات معهد تاريخ العلوم العربية والإسلامية، جامعة فرانكفورت، 1848م.

القزويني، زكريا بن محمد، عجائب البلدان، مخطوطة مكتبة الدولة، برلين، رقم (Diez A quart. 133).

القزويني، زكريا بن محمد، عجائب المخلوقات وغرائب الموجودات، تحقيق ومراجعة: سعد كريم الفقي، وكرم السيد الأزهري، دار ابن خلدون، الإسكندرية، (د.ت).

محمد، صباح محمود، الطقس والمناخ، الموسوعة الصغيرة (89)، دار الجاحظ، بغداد، (د. ت).

المسعودي، أبو الحسن، مروج الذهب ومعادن الجوهر، ج1، ط1، اعتنى به وراجعه: كما حسن مرعي، المكتبة العصرية، صيدا - بيروت، 2005م.

ابن ملكا البغدادي، هبة الله، المعتبر في الحكمة الإلهية، ط1، ج2، تحت إدارة جمعية دائرة المعارف العثمانية، حيدر آباد الدكن، 1939م.

المراجـــع الأجنبيـــة

Allaby, Michael, (2009), Atmosphere: a scientific history of air, weather, and climate, Facts On File, Inc. New York.

Brady, N., and Weil, R. 2010. "Nutrient cycles and soil fertility," in Elements of the Nature and Properties of Soils, 3rd Edn, ed V. R. Anthony (Upper Saddle River, NJ: Pearson Education Inc.), 396-420.

Britto, D. T., and Kronzuker, H. J. 2002. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. J. Plant Physiol. 159:567-84. doi: 10.1078/0176-1617-0774

Foth, H. 1990. Chapter 12: "Plant-Soil Macronutrient Relations," in Fundamentals of Soil Science, 8th Edn, ed John Wiley and Sons (New York, NY: John Wiley Company), 186-209.

Jas, G. Wood, (1894), Theophrastus of Eresus on Winds and on Weather Signs, Forgotten Books, London.

Neves, Gustavo Zen de Figueiredo & Gallardo, Nuria Pérez & Vecchia, Francisco Arthur da Silva, (2003), A Short Critical History on the Development of Meteorology and Climatology, Climate 2017, 5, 23; doi:10.3390/cli5010023. Taub, Liba, Ancient Meteorology, Routledge, London.

Taub, Liba, (2003), Ancient Meteorology, Routledge, London.

Weathers, K. C., Groffman, P. M., Dolah, E. V., Bernhardt, E., Grimm, N. B., McMahon, K., et al. 2016. Frontiers in ecosystem ecology from a community perspective: the future is boundless and bright. Ecosystems 19:753-70. doi: 10.1007/s10021-016-9967-0

Wolf, A., (1962), History Of Science Technology In 16th -17th, Vol.1, Ruskin House, London.

مواقع على الإنترنت

http://bogdanantonescu.squarespace.com/blog/2015/8/27/a-tornado-near-hague-on-july-1751

http://bibliodyssey.blogspot.com/2006/06/on-origins-of-atmospheric-science.html

http://www.islandnet.com/~see/weather/history/beaufort.htm.

http://bibliodyssey.blogspot.com/2006_06_25_archive.html

(https://en.wikipedia.org/wiki/Water_clock

https://latulippe.com/fr/produit/221882/bain-pour-oiseaux-nn3004)

https://www.sciencephoto.com) & (elementsunearthed.com


موسوعة العمري في علوم الأرض




موسوعة العمري
في علوم الأرض



أ.د. عبد الله بن محمد العمري

www.alamrigeo.com E.mail : alamri.geo@gmail.com Cell : +966505481215





المناصب الإدارية والفنية

- دكتوراه في الجيوفيزياء عام 1990 م من جامعة مينيسوتا - أمريكا.
- المشرف على مركز الدراسات الزلزالية- جامعة الملك سعود.
- المشرف على كرسي استكشاف الموارد المائية في الربع الخالي.
- المشرف على مركز الطاقة الحرارية الارضية بجامعة الملك سعود.
- رئيس الجمعية السعودية لعلوم الأرض.
- رئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود.
- مؤسس ورئيس تحرير المجلة العربية للعلوم الجيولوجية AJGS.
- رئيس فريق برنامج زمالة عالم مع جامعة أوريغون الحكومية الأمريكية ومعهد ماكس بلانك الألماني.

الاستشارات والعضويات

- مستشار مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية.
- مستشار هيئة المساحة الجيولوجية وهيئة المساحة العسكرية والدفاع المدني.
- مستشار مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة.
- مستشار هيئة الرقابة النووية والإشعاعية.
- باحث رئيس في عدة مشاريع بحثية مدعمه من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية وشركة أرامكو.
- باحث رئيس في مشاريع مدعمه من وزارة الطاقة الأمريكية وجامعة كاليفورنيا ومعمل ليفرمور الأمريكي LLNL.
- عضو الجمعية الأمريكية للزلازل.
- عضو الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء.
- عضو الاتحاد الأوروبي للجيولوجيين.
- عضو لجنة كود البناء السعودي وعضو المنتدى الخليجي للزلازل GSF.
- عضو لجنة تخفيف مخاطر الزلازل في دول شرق البحر الأبيض المتوسط RELEMR.
- باحث رئيسي ومشارك في مشاريع بحثية مع جامعات الاباما وبنسلفانيا وأوريغون الامريكية.
- ضمن قائمة (المنجزون البارزون العرب) من قبل منظمة ريفاسيمنتو الدولية.
- ضمن قائمة Who's Who في قارة آسيا للتميز العلمي.
- ضمن قائمة Who's Who في العالم للإسهامات العلمية.

النشر العلمي والتأليف

- نشر أكثر من **200** بحثاً علميًا في مجلات محكمة.
- ألف **35** كتاباً علمياً.
- أصدر موسوعة رقمية في علوم الأرض من **14** مجلداً و**107** ملفات علمية.

المشاريع البحثية

- أنجز **40** مشروعاً بحثياً محلياً و **16** مشروعاً بحثياً دولياً و **74** تقريراً فنياً.

المؤتمرات والندوات

- شارك في أكثر من **125** مؤتمراً محلياً ودولياً و **75** ندوة وورشة عمل متخصصة.

التعاون الدولي

- باحث رئيسي في **13** مجموعة عمل أمريكية وألمانية.

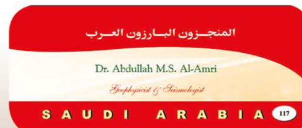
الجوائز

- حصل على جائزة المراعي للإبداع العلمي عام 2005 م.
- حصل على جائزة التميز الذهبي من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم و التقنية عام 2006 م.
- حصل على جائزة أبها التقديرية للإسهامات العلمية عام 2007م.
- حصل على جائزة جامعة الملك سعود للتميز العلمي عام 2013 م.
- حصل على جائزة الاتحاد الامريكي للجيوفيزياء للتعاون الدولي والنشاط البحثي عام 2013 م.
- حصل على جائزة جامعة السلطان قابوس للإسهامات العلمية عام 2013 م.
- حصل على جائزة الملك سعود لإدراج المجلة العربية للعلوم الجيولوجية في قائمة الـ ISI.
- حصل على جائزة أفضل رئيس تحرير مجلة علمية عام 2017 من الناشر الألماني SPRINGER.
- حصل على جائزة ألبرت نيلسون ماركيز للإنجاز مدى الحياة عام 2018 من منظمة Who's Who العالمية.

دروع التكريم

- حصل على **85** درعاً تكريمياً وشهادات تقدير من المملكة وعمان والكويت والإمارات والأردن ومصر وتونس والجزائر وألمانيا وأمريكا.



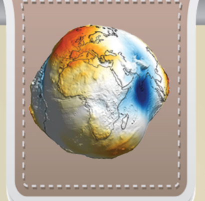







موسوعة العمري في علوم الأرض

Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences





تقدير عمر الأرض



شكل الأرض وحركاتها



الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها



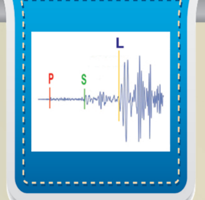
التركيب الداخلي للأرض



المعادن والتعدين



المد والجزر





موجات التسونامي



الزلازل والتفجيرات



تقييم مخاطر الزلازل



البراكين وسبل مجابهتها

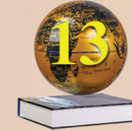


جيولوجية القمر

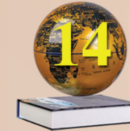


الأغلفة المحيطة بالأرض





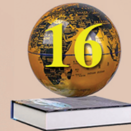
المشاكل البيئية وحلولها



التغيرات المناخية والاحتباس الحراري



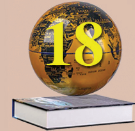
التشجير التحديات والحلول



الانزلاقات والانهيارات والفيضانات

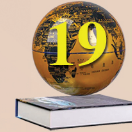


الأمطار السيول والسدود

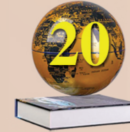


التصحر والجفاف

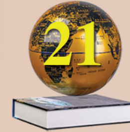




مستقبل الطاقة في عالمنا



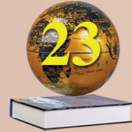
الطاقة الحرارية الأرضية



هل انتهى عصر النفط؟



الجيوفيزياء النووية

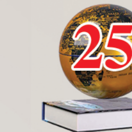


الجيولوجيا الطبية

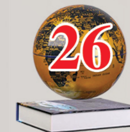


دليل كتابة الرسائل والنشر العلمي

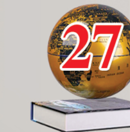




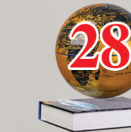
321 سؤال وجواب في تطور الأرض



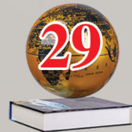
325 سؤال وجواب في علم الصخور والجيوكيمياء



358 سؤال وجواب في الثروات الطبيعية



380 سؤال وجواب في المخاطر الجيولوجية



303 سؤال وجواب في علم الزلازل والزلزالية الهندسية



300 سؤال وجواب في الجيوفيزياء التطبيقية





www.alamrigeo.com